



**Universidade de Aveiro**  
**2015**

Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e  
Informática

**Hugo Filipe**  
**Texugo Lopes**

## **Sensores Passivos para Agricultura**





**Hugo Filipe  
Texugo Lopes**

## **Sensores Passivos para Agricultura**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Nuno Borges de Carvalho, Professor do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.



Dedico este trabalho aos meus pais e irmão por todo o apoio prestado ao longo da minha formação académica.



## **O júri**

Presidente

**Prof. Doutor Paulo Bacelar Reis Pedreiras**

Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Arguente

**Prof. Doutor Pedro Renato Tavares Pinho**

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Eletrónica e de Telecomunicações e de Computadores do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Vogal/Orientador

**Prof. Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho**

Professor Catedrático do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro





## **Agradecimentos**

Sendo este documento o final da longa e árdua etapa académica, deixo aqui a minha lista de agradecimentos.

Começo por agradecer a toda minha Família pelo apoio e incentivo prestados durante o meu percurso académico.

À Joana por todo o apoio, incentivo e compreensão nesta fase final do meu percurso académico.

Agraço também aos meus amigos e companheiros nesta aventura, Gonçalo Costa e João da Silva pois acredito que sem eles este percurso teria sido mais difícil.

Não poderia deixar de referir um forte agradecimento aos Engenheiros e investigadores do IT, Gabriel Blard, Alírio Soares Boaventura, Daniel Belo, também ao Paulo Gonçalves por toda a sua disponibilidade e ajuda contribuindo assim para o sucesso deste projeto de dissertação.

Obrigado ao meu Orientador Professor Nuno Borges de Carvalho pela orientação e total disponibilidade ao longo do trabalho.

Agradeço também à Associação de Criadores de Raça Marinhola na pessoa do Engenheiro Pedro Ferreira o apoio e disponibilidade que permitiram o conhecimento da realidade a aplicar o sistema e testes.

Um especial agradecimento à Associação de Cicloturismo e BTT do Fôjo, a todos os seus sócios, pelo apoio durante este período, também pelos ensinamentos e experiências que me fizeram crescer e amadurecer enquanto pessoa.



## **palavras-chave**

Rádio Comunicações, Wireless Power Transmission, Energy Harvesting, RF-DC.

## **resumo**

Esta dissertação surge no âmbito de uma parceria com a Associação de Criadores de Raça Marinhola, com o objetivo de projetar e desenvolver um sistema de monitorização de gado em ambientes agrícolas. Este sistema tem sensores autónomos, não necessitam de troca de baterias durante anos, estando estes embebidos nos animais de forma a serem robustos e existir uma integração perfeita.

Começou-se pelo desenvolvimento do firmware para comunicação dos rádios Texas CC1110, utilizando o protocolo Simpliciti da Texas. Posteriormente programou-se com a plataforma Arduino o envio autónomo de dados via GSM obtidos pelo sistema GPS e pela comunicação via UART com o rádio CC1110. Por fim foi desenvolvido um sistema de Wake Up Radio e desenhou-se um módulo final com o sistema compacto a integrar no animal.



**Keywords**

Radio Communications, Wireless Power Transmission; Energy Harvesting, RF-DC.

**abstract**

This Thesis comes under a partnership with the Associação de Criadores de Raça Marinhoa. The main purpose is development a livestock monitoring system in agricultural environments. This system has autonomous sensors, require no battery replacement for years, these being embedded in animals so as to be robust and there is a seamless integration.

It started by the firmware development for communication of Texas CC1110 radios, using the SimpliciTI protocol of Texas. Later programmed with the Arduino platform autonomous sending data via GSM obtained by the GPS system and communication via UART with the CC1110 radio. Lastly it developed a Wake Up Radio system and drew up a final module with the compact system to be integrated in the animal.



# Índice

---

<b>Índice .....</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Acrónimos .....</b>	<b>vii</b>
<b>1 - Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 - Motivação e Objetivos .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2-Estrutura da dissertação .....</b>	<b>2</b>
<b>2 - Conceitos Fundamentais.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1-RFID .....</b>	<b>5</b>
2.1.1-História do RFID.....	5
2.1.2-Componentes básicos de um sistema RFID .....	7
2.1.3-Aplicações, aplicabilidade e ética .....	8
2.1.4-Classificação dos sistemas .....	9
2.1.4.1- Forma de Alimentação do transponder .....	9
2.1.5- Frequências de operação e potências máximas .....	11
<b>2.2-Global Positioning System .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 – GSM .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 – Funcionamento GSM.....	14
<b>2.4 – Arduino .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 – Texas CC1110.....</b>	<b>16</b>
2.5.1 – O protocolo SimpliciTi.....	17
<b>2.6 – Wake Up Radio .....</b>	<b>18</b>
<b>2.7 – Projeto IDEIA Universidade de Évora - Bolo alimentar RFID.....</b>	<b>19</b>
<b>2.8 – Raça Marinhoeira.....</b>	<b>20</b>
2.8.1 – Localização Geográfica .....	20
2.8.2 - Maneio Produtivo.....	21
<b>3 - Arquitetura e Implementação do Sistema .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 – Arquitetura.....</b>	<b>23</b>
3.1.1-Arquitetura do Módulo Drone.....	24
3.1.1.1 – GPS .....	24
3.1.1.2 – GSM.....	25
3.1.1.3 – Texas CC1110.....	25
3.1.1.4 - Gerador Sinal de Wake Up .....	25
3.1.2-Arquitetura do Módulo do Animal.....	26
3.1.2.1 - Wake Up Radio.....	26
3.1.2.2 – Integração do Sistema com o Animal.....	27
<b>3.2 – Implementação .....</b>	<b>28</b>
3.2.1-Módulo do Drone .....	28
3.2.1.1 - Arduino e GSM.....	28
3.2.1.2 - GPS GTPA100.....	29
3.2.1.3 - Rádio Texas CC1110 .....	29
3.2.2-Módulo do Animal .....	33
3.2.2.1 – Wake Up Radio .....	33
3.2.2.2 - Rádio Texas CC1110 - End Device .....	44
3.2.2.3 - Antena.....	45
3.2.2.4 - Análise do Corno da Vaca .....	46
3.2.2.5 – Caixa – Integração com o Animal.....	49
3.2.2.7 – Outras formas recepção e desmodulação do sinal de WUR .....	49

<b>4 - Resultados .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1-Consumo Energético.....</b>	<b>52</b>
4.1.1 – Módulo do Animal.....	52
4.1.1.1 - Comparador .....	53
4.1.1.2 - Atmega 328 .....	53
4.1.1.3 - Montagem com todos os componentes .....	53
4.1.1.4 - Formas onda corrente .....	53
4.1.2 - Energy Budget.....	55
<b>4.2 – Testes Wake Up Radio.....</b>	<b>56</b>
4.2.1 – WUR 433MHz.....	56
4.2.2 – WUR 868MHz.....	56
<b>4.3 - Link Budget.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4 – Placa Final .....</b>	<b>59</b>
4.4.1 – Adaptação WUR.....	59
4.4.2 - Teste WUR.....	60
4.4.3 - Corrente Consumida.....	61
4.4.4 – Energy Bugdet .....	62
4.4.5 - Testes ao Sistema .....	63
<b>5 - Conclusão e Trabalho Futuro .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1-Conclusão .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2-Trabalho Futuro .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>68</b>
<b>A – Kit Desenvolvimento Texas .....</b>	<b>68</b>
Placa SmartRF04EB .....	68
CC1110 EM.....	69
SOC-BB.....	69
Tabela Pinos I/O CC1110.....	70
<b>B - Placas Desenvolvidas.....</b>	<b>71</b>
GPS.....	71
Filtro Ativo – Configuração não inversora .....	72
Opamp Malha Aberta – Comparador .....	73
Comparador LTC1540.....	74
RF to DC converter.....	75
<b>C – Sistema Final - Módulo Animal .....</b>	<b>76</b>
Esquemático.....	76
Circuito Final.....	77
<b>D – Analise do Corno da Vaca .....</b>	<b>78</b>
<b>Referências .....</b>	<b>80</b>



# Lista de Figuras

---

Figura 1 – Arquitetura do sistema a desenvolver .....	2
Figura 2 – Evolução do RFID retirado de [3].....	6
Figura 3 - Componentes de um Sistema RFID – retirado de [2] .....	8
Figura 4 - Diagrama de Blocos - Tag Passivo, retirado de [3] .....	9
Figura 5 - Tag RFID Passiva .....	10
Figura 6 - Tag RFID Ativas.....	10
Figura 7 – Relação das frequências de operação com a potência máxima, retirado de [7].	12
Figura 8 - Sistema GPS, retirado de [8] .....	13
Figura 9 – Diagrama de Blocos CC1110, retirado de [14].....	16
Figura 10 - Rede SimplicTI, retirado de [17] .....	17
Figura 11 – Wake Up Radio, retirado de [18] .....	18
Figura 12 – Bolo ruminal para bovinos, retirado de [20] .....	19
Figura 13 - Distribuição geográfica Raça Marinhoa, retirado de [22] .....	21
Figura 14 – Vacas da raça Marinhoa no local de Maneio, retirado de [22] .....	22
Figura 15 - Blocos do Sistema.....	24
Figura 16 - Triangulação GPS, retirado de [23] .....	24
Figura 17 - Malha de adaptação em $\pi$ , retirado de [24].....	26
Figura 18 - Arduino e Shield GSM .....	28
Figura 19 - Esquema de Ligação GPS Arduino .....	29
Figura 20 - Tensão versus potência para vários estágios de retificação .....	33
Figura 21 - Esquemático malha adaptação e estágios de duplicador de tensão .....	35
Figura 22 - Adaptação da Antena .....	36
Figura 23 - Relação da Tensão com a Potencia.....	36
Figura 24 - Adaptação do Circuito WUR 868MHz.....	38
Figura 25 - Adaptação WUR frequência 868MHz .....	38
Figura 26 - Melhor Adaptação WUR .....	39
Figura 27 – LTC1540, retirado de [27] .....	40
Figura 28 – LTC1540 Montagem baixo consumo, retirado de [27].....	40
Figura 29 - Divisor de Tensão .....	40
Figura 30 - Montagem para gravação do Bootloader no ATMEGA 328, retirado de [28].	42
Figura 31 - Montagem para programação do ATMEGA 328, retirado de [28] .....	42
Figura 32 - Diagrama blocos módulo Animal .....	45
Figura 33 - Pedacos de corno para análise de permitividade elétrica relativa.....	46
Figura 34 - Adaptação Corno 45mm .....	48
Figura 35 - Adaptação Corno 20mm .....	48
Figura 36 - Caixa Corno OPEN SCAD .....	49
Figura 37 – Filtro Ativo configuração Inversora, retirado de [29].....	50
Figura 38 – Equações de ganho e frequências de corte – Configuração Inversora, retirado de [29] .....	50
Figura 39 – Esquemático Filtro Ativo configuração inversora - Simulador ADS .....	50
Figura 40 – Filtro Ativo Configuração não Inversora, retirado de [29] .....	51
Figura 41 – Sistemas Finais, Esquerda – Módulo do Drone, Direita – Módulo do Animal	52
Figura 42 - Radio sem Link para o módulo do Animal .....	54
Figura 43 - Rádio ligado e a enviar o seu ID.....	54
Figura 44 - Relação Potencia vs tensão WUR 433MHz e 390MHz .....	56

Figura 45 - Relação Potencia vs tensão WUR 868 MHz e 875 MHz .....	57
Figura 46 – Imagem da Placa Final.....	59
Figura 47 - Adaptação da Placa Final .....	59
Figura 48 - Relação Potencia vs tensão WUR 868 MHz Placa Final .....	60
Figura 49 - Corrente consumida sem AP .....	61
Figura 50 - Corrente Sistema em Funcionamento com Link .....	61
Figura 51 - Comparação entre tensão em função da potência no WUR por cabo e transmissão no ar .....	63
Figura 52 - Placa SmartRF04EB .....	68
Figura 53 - Rádio Texas CC1110 EM.....	69
Figura 54 - Texas SOC-BB .....	69
Figura 55 - Tabela de Pinos I/O CC1110, retirada de [15] .....	70
Figura 56 - Esquemático Placa GPS .....	71
Figura 57 - Layout para Impressão de PCB - GPS .....	71
Figura 58 - Foto Placa GPS.....	72
Figura 59 - Layout para PCB - Filtro Ativo Configuração não inversora.....	72
Figura 60 - Foto placa - Filtro ativo configuração não inversora.....	72
Figura 61 - Layout PCB - Opamp Malha aberta - comparador.....	73
Figura 62 - Foto - Opamp Malha Aberta - comparador .....	73
Figura 63 - Layout PCB - Comparador LTC1540 .....	74
Figura 64 - Foto Placa comparador LTC1540 .....	74
Figura 65 - Layout PCB - RF to DC converter .....	75
Figura 66 - Foto RF to DC converter .....	75
Figura 67 - Esquemático Placa final Módulo Animal.....	76
Figura 68 - Placa Final - Módulo do Animal .....	77
Figura 69 - Analise do Corno da Vaca.....	78

# Lista de Tabelas

---

Tabela 1 - Resumo e Evolução do RFID retirado de [4] .....	7
Tabela 2 - Função do protocolo SimplicíTI.....	30
Tabela 3 - Principais Funções IOCT Radio.....	30
Tabela 4 - Ligações Arduino - CC1110 .....	32
Tabela 5 - Ligações Arduino - CC1110 e GPS .....	32
Tabela 6 – Variação na Frequência de Adaptação em função de L2 .....	37
Tabela 7 - Parâmetros S Peçaço Corno 20mm .....	47
Tabela 8 - Parâmetros S - Peçaço de Corno 45mm.....	47
Tabela 9 - Potencia vs tensão WUR 868 MHz e 875 MHz.....	57
Tabela 10 - Perdas em dB em função das distâncias .....	58
Tabela 11 - Potencia vs tensão WUR Final.....	60
Tabela 12 - Tensão WUR .....	63



# Lista de Acrónimos

---

AC	Alternating Current
ACRM	Associação de Criadores de Raça Marinhola
ADC	Analog to Digital Converter
ADS	Advanced Design System
AP	Acess Point
CDMA	Code Division Multiple Access
CST	Computer Simulation Technology
DC	Direct Current
ED	End Device
DSP	Digital Signal Processor
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EPC	Electronic Product Code
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HF	High Frequency
IDE	Integrated Development Environment
IFF	Identify Friend or Foe
ISM	Industrial Scientific and Medical
ID	Identifier
IT	Instituto de Telecomunicações
LF	Low Frequency
MAC	Medium Access Control
MCU	Micro Controller Unit
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NFC	Near Field Communication
NMEA	National Marine Electronics Association
PCB	Printed circuit board
PIN	Personal Identification Number
PLA	Polylactic Acid
PWM	Pulse-Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
SIM	Subscriber Identity Module
SoC	System On Chip
SMS	Short Message Service
TDMA	Time Division Multiple Access

UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UHF	Ultra High Frequency
UID	Unique Identification
UPC	Universal Product Code
VCO	Voltage-controlled Oscillator
WUR	Wake Up Radio

# 1 - Introdução

---

## 1.1 - Motivação e Objetivos

São inúmeros os sistemas de identificação por radiofrequência (RFID), tecnologia que não conhece limites quanto à variedade de aplicações. Com a evolução dos telemóveis para *smartphones*, temos assistido também à evolução da utilização desta tecnologia, por exemplo, para catalogação e rastreamento de produtos nos grandes grupos ligados ao mercado do vestuário. Também na identificação de veículos e portagens, pagamento eletrónico e cartões de fidelização, sistemas antirroubo, controlo de acesso e assiduidade, autenticação, sistemas de localização, passaportes, telemóveis (NFC) e começa a evoluir também a “identificação biométrica”, sendo esta tecnologia implantada no próprio corpo humano. Atualmente está-se a assistir à evolução da *Internet Of Things* associada à tecnologia RFID, este conceito consiste na leitura ou monitorização de sistemas via rádio e na disponibilização dos dados numa base de dados *online* acessível a partir de qualquer plataforma com acesso à web.

No que toca aos animais, os diversos sistemas para localização disponíveis no mercado, apresentam autonomias baixas, com necessidade de fazer troca ou manutenção de baterias entre quatro a cinco dias. Os equipamentos têm preços de aquisição elevados e ainda têm custos associados ao uso do sistema de comunicação, o serviço GSM. Para a sua utilização é feita a iteração com aplicações móveis e plataformas *online* para monitorização dos animais. Tem como sua função básica localizar o animal, mas também permitem balizar uma zona onde o animal se pode deslocar, alguns dispõem ainda de sensor de temperatura e sensor de mortalidade. Por forma a aumentar a sua autonomia alguns destes sistemas têm pequenos painéis solares.

Na sua generalidade estes sistemas são aplicáveis numa coleira ao pescoço dos animais, o que não é viável para aplicação na raça Marinhola pois esta espécie tem a característica de andar dentro da ria de Aveiro, logo o sistema tem de ser à prova de água, é também comum que os animais se rocem em árvores ou tenham brincadeiras em que facilmente arrancam as coleiras. Nos campos de maiores dimensões os animais podem ficar semanas sem ser vistos pelos produtores, desse modo, há a necessidade do sistema ter uma autonomia superior a esse período de tempo.

Em Portugal os animais bovinos têm duas formas de identificação, os brincos colocados nas orelhas e um chip RFID no interior do seu rúmen. Como os brincos são facilmente adulteráveis e são escassas as entidades que têm leitores RFID para a identificação dos animais, os animais da raça Marinhola são um alvo fácil para pessoas mal-intencionadas que se dedicam a negócios paralelos de venda de carne ou de animais.

Os bovinos da raça Marinhola estão localizados na zona do Baixo Vouga, têm a característica de serem uma raça bastante meiga e dócil, que era utilizada pelos agricultores na sua atividade. Com o desenvolvimento industrial a criação destes animais passou a ter

maior relevo no sentido da produção e venda da carne, a qual tem enorme reconhecimento e qualidade. Devido a essas características os produtores têm vindo a seu alvo de roubos de animais nos campos.

Como os sistemas comerciais não cobrem as necessidades dos produtores, a Associação de Criadores da Raça Marinhola procurou assim estabelecer uma parceria com IT Aveiro de forma a ser desenvolvido um sistema de monitorização para os animais robusto e com uma boa eficiência energética.

Os sensores agrícolas são fundamentais para a agricultura do futuro, mas mais uma vez os sensores têm de ser dispositivos sem fios para permitir a correta ligação dos sistemas de monitorização aos dispositivos nos campos agrícolas.

No sistema a desenvolver para a raça Marinhola, pretende-se que os sensores sejam autónomos de forma a não ser necessário a substituição de baterias e ou atualização das mesmas durante um período de tempo elevado. A sua principal função será a monitorização de gado em ambientes agrícolas tendo como objetivo que estes sensores estejam embebidos nos animais e sejam robustos para existir uma integração perfeita. Os sensores a desenvolver terão de conter formas de obter energia de forma integrada e além disso comunicar com sistemas autónomos como *drones* ou estações base localizadas no campo.

Desta forma vai-se então desenvolver um sistema que se pode subdividir em dois módulos. Um módulo a aplicar no animal e um módulo a estar num *drone* ou numa estação base fixa no campo. A arquitetura do sistema pode ser observada na figura 1 e será explicada em maior detalhe no capítulo III.

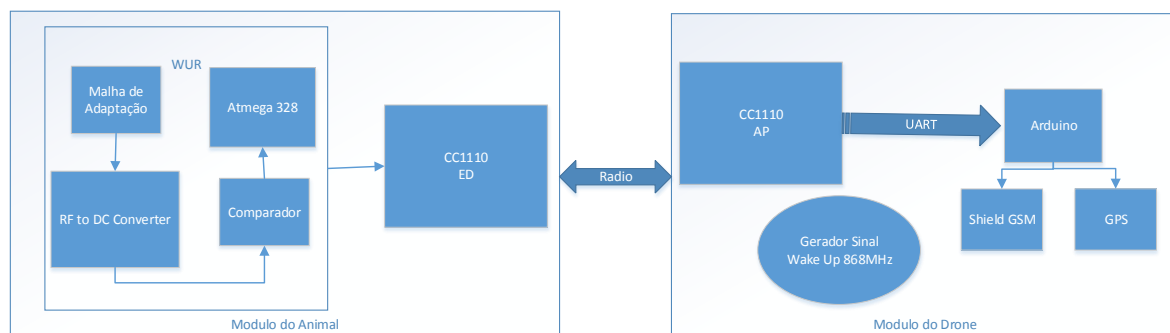


Figura 1 – Arquitetura do sistema a desenvolver

## 1.2-Estrutura da dissertação

Esta dissertação de mestrado encontra-se dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz a dissertação procurando enquadrar as motivações e objetivos da mesma no panorama atual dos sistemas de identificação e localização para animais.

O segundo capítulo constitui um estudo do “estado da arte” da tecnologia RFID. Neste capítulo começa-se por fazer um resumo histórico da tecnologia evidenciando os principais marcos que ocorreram para a existência da tecnologia tal como a conhecemos hoje. Prossegue-se com um estudo tecnológico, onde se abordam aspetos como a composição do



sistema, aplicabilidade da tecnologia, classificação dos sistemas RFID, frequências de operação, potências e alcance. Passando também pela exposição dos conceitos associados a todas as tecnologias utilizadas nestes projeto.

O capítulo terceiro aborda os aspetos relevantes da arquitetura e implementação do sistema. Neste capítulo faz-se a apresentação detalhada da arquitetura dos dois módulos que constituem o sistema desenvolvido bem como a exposição e descrição dos detalhes concretos da implementação, assim como do *firmware* desenvolvido.

No capítulo quatro é feita a apresentação e discussão de todos os resultados relevantes. Por último no capítulo cinco, apresenta-se o resumo geral do trabalho realizado e dos aspetos a melhorar, tal como outras linhas de trabalho que poderão ser desenvolvidas no futuro.

Além destes capítulos existem ainda anexos onde serão apresentados e os módulos de *hardware* desenvolvidos, layouts para a impressão de PCB's e as imagens dos circuitos finais.



## 2 - Conceitos Fundamentais

---

Serão de seguida apresentados alguns conceitos considerados fundamentais para melhor perceber o trabalho que foi desenvolvido no contexto desta dissertação de Mestrado.

Começa-se assim por introduzir o conceito de RFID, assim como a história do seu desenvolvimento. Os componentes básicos de um sistema RFID, as suas aplicações, aplicabilidade e ética. Estes sistemas são ainda classificados no que toca a sua alimentação como passivos, semi passivos ou ativos. É ainda apresentada a relação da potência máxima transmitida com frequência de operação.

São ainda introduzidas as restantes tecnologias utilizadas, o GPS, GSM, a plataforma Arduino e o *transceiver low power* Texas CC1110. Associado ao último são ainda descritas brevemente as características do protocolo de programação SimpliciTi.

### 2.1-RFID

O que é o RFID?

RFID, do Inglês – *Radio Frequency Identification*; em Português – Identificação por Rádio Frequência;

É um método de identificação automática, que recorrendo a sinais rádio lê e grava dados, num dispositivo de armazenamento que se denomina por *transponder*, de forma remota. Esta tecnologia permite ainda a identificação, a localização e o rastreamento de pessoas, animais e objetos, usando também os sinais rádio [1] [2].

#### 2.1.1-História do RFID

A tecnologia de identificação por rádio frequência, RFID, acompanhando a evolução das telecomunicações, tem vindo a afirmar-se como a nova geração de sistemas de identificação automática. Tem como principais vantagens em relação aos outros mecanismos de identificação automática, o facto de não exigir contacto físico ou linha de vista entre o leitor e o *transponder* e os elevados débitos de dados. O conceito de RFID teve a sua origem nos sistemas de radares utilizados na segunda guerra mundial. Nesta altura, os alemães, japoneses, americanos e ingleses utilizavam radares descobertos em 1935 por Robert Alexander Watson-Watt, físico escocês, para detetar a aproximação de aviões. Estes sistemas cumpriam com as especificações para que tinham sido criados, a deteção da aproximação de aviões mas ainda assim havia um grande problema que passa pela forma de distinguir quais aviões eram aviões inimigos e aliados. Foi descoberto pelos alemães que, se os seus pilotos girassem os aviões no regresso à base iriam fazer com que as características do sinal de rádio refletido fossem modificadas. Desta forma os alemães conseguiam reconhecer os seus aviões. Este método de identificação foi então tomado como o primeiro sistema RFID passivo.

Foram os ingleses sob a orientação de Robert Alexander Watson-Watt que desenvolveram o primeiro identificador ativo. Este sistema fazia uma identificação como amigo ou inimigo tal como refere a sua designação, sistema IFF- *Identify Friend or Foe*. Estes *transceivers* foram colocados nos aviões britânicos que ao receberem um sinal da estação base iriam responder com o identificador “amigo”. Atualmente este é ainda o conceito utilizado nos sistemas RFID. O seu funcionamento pode descrever-se pelo leitor que faz o *broadcast* do sinal rádio, o sinal é recebido pelo *transponder* que no caso de um sistema passivo, reflete o sinal ou por outro lado, no caso do sistema ativo, irá transmitir um sinal próprio. [1].

Na figura 2 pode ser observada a evolução do RFID ao longo do tempo.

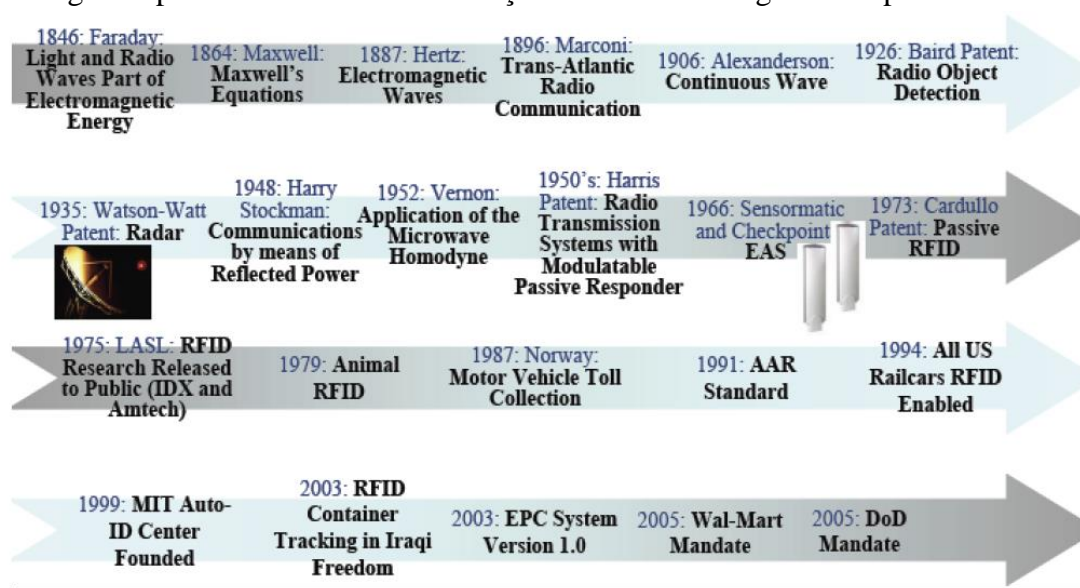


Figura 2 – Evolução do RFID retirado de [3]

Destacam-se então alguns dos marcos mais importantes da história do RFID. Em 1846 foi descoberto pelo inglês Michael Faraday que a luz e as ondas rádio faziam parte do espectro eletromagnético. Posteriormente em 1864 foram publicadas as equações sobre o campo eletromagnético, pelo físico escocês, James Clerk Maxwell. O físico alemão Heinrich Rudolf Hertz, em 1887, com um estudo sobre ondas eletromagnéticas confirmou as leis de Maxwell. Um século depois, em 1896, foi feita a primeira transmissão de informação rádio por Guglielmo Marconi. Este conseguiu ainda estabelecer a primeira comunicação rádio transatlântica. Em 1948 surgiu o trabalho de Harry Stockman designado “*Communication by Means of Reflected Power*”, em que foi explorado o uso da potência refletida como meio de comunicação. Na década de 60 houve um avanço significativo da tecnologia e, surgem na década seguinte diversos estudos sobre a teoria e modo de funcionamento do sistema que vieram estabelecer a tecnologia, da forma como é conhecida atualmente.

Dos avanços desenvolvidos, poderão ser realçados os estudos levados a cabo por R. F. Harrington sobre a teoria eletromagnética relacionada com o RFID. A primeira patente sobre o RFID surge mais tarde, em 1973, tendo sido requerida por Mário W. Cardullo para o seu sistema RFID ativo com memória reprogramável.

O RFID entrou definitivamente na indústria e também no mercado mundial a partir da década de 80. Espalhadas por todo o mundo, foram abertos vários centros de Investigação e

desenvolvimento da tecnologia RFID. Tendo começado a surgir na década de 90 as primeiras normas e *standards* sobre RFID. No ano de 1999 foi criado o centro de identificação automática do MIT, o MIT Auto-ID Center que em 2003 desenvolveu o sistema que veio substituir o código de barras (UPC), designado sistema EPC[3].

A tabela 1 resume a evolução do RFID ao longo das décadas.

Década	Acontecimentos
1940-1950	Desenvolvimento do radar para identificação de aviões durante a 2ª Guerra Mundial. Surge o conceito de RFID.
1950-1960	Estudo da tecnologia RFID e potenciais desenvolvimentos. O sistema RFID IFF é finalizado e começa a sua produção.
1960-1970	Os cientistas desenvolveram a teoria do RFID. Surgiram as primeiras aplicações práticas desta tecnologia.
1970-1980	Expansão no desenvolvimento do RFID Criados primeiros chips de identificação RFID
1980-1990	Início da produção e venda de RFID no mercado
1990-2000	RFID começa a marcar presença no dia-a-dia das pessoas. Criação de normas e standards.
2000-...	Em 2005 surge a tecnologia NFC, Near Field Communication, que vem introduzir mais um avanço ao RFID.

**Tabela 1 - Resumo e Evolução do RFID retirado de [4]**

### 2.1.2-Componentes básicos de um sistema RFID

Na figura 3 apresentam-se os módulos que constituem a configuração normal de um sistema RFID. Este tem como principais componentes, o leitor, a antena, o *transponder* e o computador ou servidor. O leitor interroga os *transponders* que estão no seu campo de alcance, fazendo a difusão do sinal rádio através da sua antena. Esta operação é a primeira a realizar num sistema do tipo “*reader talks first*”. Se o sistema for passivo, o *transponder* no campo do leitor vai fazer uso do campo eletromagnético recebido para se alimentar.

Quando se tratam de sistemas simples, após a receção do sinal, enviado pelo leitor, o *transponder* irá enviar de forma imediata a resposta, fazendo a reflexão do sinal, na qual envia o seu UID. No caso dos sistemas com maior complexidade são necessárias mais iterações até que o *transponder* esteja pronto para responder enviando o seu UID. A maioria dos leitores RFID encontram-se ligados a servidores, com grande capacidade de processamento, que são os responsáveis pela principal aplicação do sistema [2].

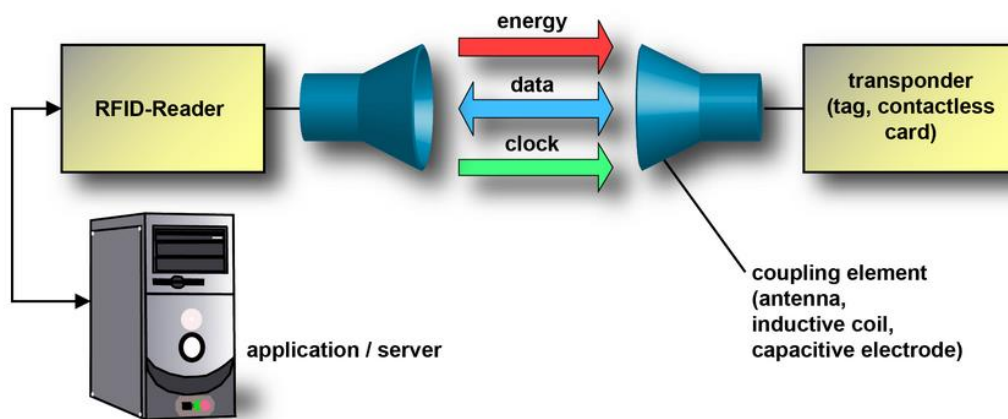


Figura 3 - Componentes de um Sistema RFID – retirado de [2]

### 2.1.3-Aplicações, aplicabilidade e ética

Nos dias de hoje existem inúmeras aplicações da tecnologia RFID, estas podem ir desde a simples identificação de bens, pessoas e animais até sistemas complexos que permitem a navegação e a localização em ambientes internos. Do leque das aplicações mais comuns podem ser destacadas as seguintes:

- Identificação de pessoas e animais
- Controle de acessos e assiduidade
- Autenticação
- Sistemas de pagamento eletrónico
- Cartões de fidelização
- Controle e pagamento de portagens
- Sistemas anti-roubo
- Rastreamento e localização de produtos

Outro assunto de relevo passa pela validade ética da tecnologia RFID e a forma como esta é aplicada. Uma utilização abusiva da mesma poderá levar à perda de privacidade de um indivíduo e também à perda de segurança dos seus dados.

No caso do uso das *tags* RFID para controlo de stocks e identificação de produtos, as lojas devem fazer a desativação das *tags* antes do cliente sair da loja, caso isso não aconteça numa futura ida à loja ou se alguém mal-intencionado tiver um leitor poderá aceder aos dados e monitorizar o cliente, violando assim a sua privacidade.

Um outro caso está relacionado com o uso dos cartões inteligentes com os quais as preocupações recaem sobre a possibilidade do *chip* poder ser lido à distância sem o consentimento do seu dono, o que seria uma violação da sua privacidade. Sabe-se no entanto que existem técnicas de encriptação para evitar este tipo de violações e também que é complexo desenvolver um leitor para distâncias maiores [5].

## 2.1.4-Classificação dos sistemas

Os sistemas RFID podem ser classificados de forma muito mais vasta do que aquela que aqui se apresenta. Vai fazer-se apenas uma diferenciação dos sistemas segundo a forma de alimentação do *transponder* critério que se julga mais relevante no contexto desta dissertação. Esta diferenciação poderia, no entanto, ser estendida a outras características, tais como natureza do campo utilizado, magnético ou eletromagnético, capacidade de armazenamento de dados e técnica de *downlink/uplink* de dados.

### 2.1.4.1- Forma de Alimentação do transponder

Os sistemas podem ser classificados como ativos, passivos ou semi-passivos no que toca à forma de alimentação do *transponder*.

#### Sistemas Passivos

Este é o sistema mais comum, a sua principal característica é o *transponder* não possuir uma fonte de energia própria. É um sistema que se alimenta do campo eletromagnético proveniente do leitor. Como não tem fonte de energia, este tipo de dispositivos é, em geral, mais compacto que um *transponder* ativo, mais barato e não requer manutenção. Por outro lado tem a desvantagem de possuir um menor alcance. Este tipo de sistema é sempre do tipo “*Reader Talks first*”, pois a *tag* precisa que o campo do leitor seja emitido para se alimentar.

Mais do que o chip e da antena, um *transponder* passivo possui ainda um retificador e um regulador de tensão que é responsável pela extração da potência DC do sinal RF, sendo essa potência que irá possibilitar a alimentação da eletrónica interna do chip [6].

Na Figura 4 está representado o diagrama de blocos típico de um *transponder* passivo.

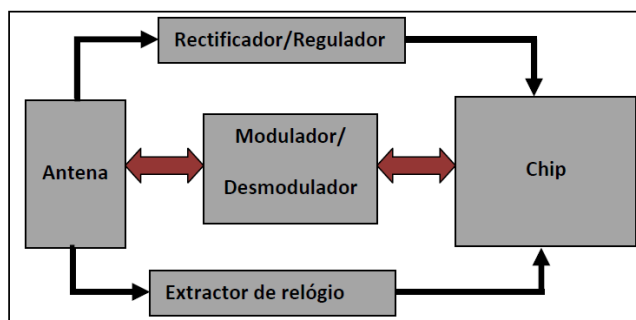


Figura 4 - Diagrama de Blocos - Tag Passivo, retirado de [3]

Nesta configuração, a antena tem a função adicional de aproveitar a energia do campo eletromagnético recebido para alimentar o chip, razão pela qual o alcance do sistema depende muito do formato e tamanho da mesma. Na figura 5 mostram-se vários exemplos

de *tags* passivas com formatos de antena diferentes. O formato da antena varia consoante a aplicação, frequência de operação e alcance máximo pretendido.

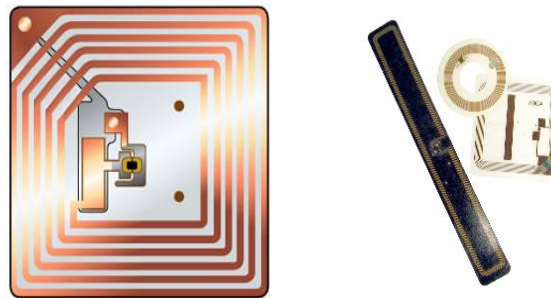


Figura 5 - Tag RFID Passiva

## Sistemas Ativos

No caso destes sistemas o *transponder* é normalmente alimentado por baterias tendo assim a sua própria fonte de energia interna o que faz com que não necessite da energia proveniente do leitor para se alimentar. Devido a esta característica um sistema ativo tem maior complexidade e independência do *transponder*, e ainda, maior capacidade de armazenamento e maior alcance e que os sistema do tipo passivos. Por outro lado tem como desvantagem a necessidade de recarrega ou trocar das baterias ocasionalmente.

Este sistema poderá ainda funcionar em modo de poupança de energia quando não está no raio de alcance de um leitor, potenciando assim a poupança energética e amentando a autonomia. No que toca ao preço os *transponders* passivos são mais baratos que os ativos[6].

Na figura 6 mostram-se dois *tags* ativos, o da direita possui uma antena externa, o que aumenta o seu alcance.

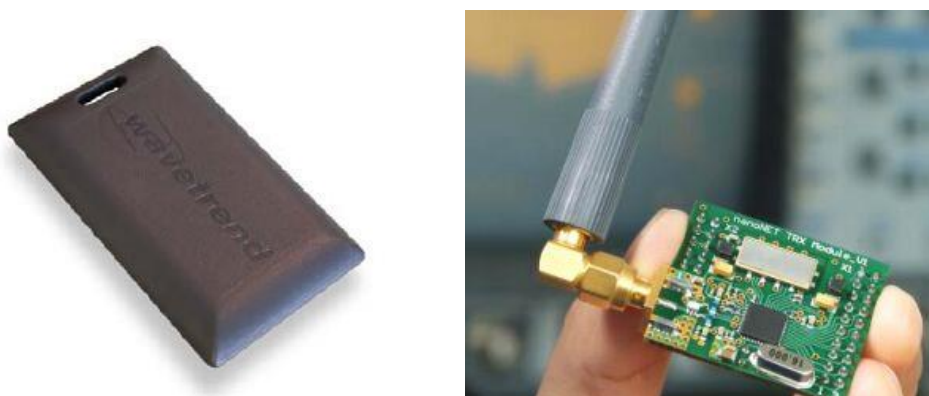


Figura 6 - Tag RFID Ativas



## Sistemas Semi-passivos

Neste tipo de sistemas, tal como nos sistemas ativos, o *transponder* possui uma fonte de energia interna mas neste caso serve apenas para alimentar a eletrônica interna de controlo e não para gerar qualquer potência RF. No que toca à comunicação RF este funciona tal como o sistema passivo, ou seja, é feita a reflexão de potência proveniente do leitor. Este sistema permite maior alcance que os passivos e ainda maior autonomia energética que os ativos, representado assim um compromisso entre os sistemas passivo e ativo.

Um exemplo deste tipo de sistema é o atual sistema de cobrança de portagens automático, a Via Verde, que usa o *backscattering* [6].

### 2.1.5- Frequências de operação e potências máximas

Sendo o RFID um sistema de rádio, este também está sujeitos às regras e limitações a que os sistemas de rádio estão sujeitos de forma a não ocorra interferência entre os sistemas que partilham o espaço, tempo ou a frequência. Deste modo quando se projetam sistemas de rádio tem de garantir que não irão sofrer ou causar interferências nos outros sistemas. Para que essa condição seja garantida, têm de ser feitas restrições no que toca à utilização das faixas de frequência disponíveis, também não podem ser excedidos os limites potência quer à frequência fundamental quer às harmónicas entre outras limitações existentes.

Os sistemas RFID são desenvolvidos na sua grande maioria na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) [7]. Na figura 7 apresenta-se uma tabela que resume a distribuição das faixas de frequências para os sistemas RFID, na qual são também indicadas as potências máximas permitidas para cada faixa de frequência.

frequency range	comment	allowed fieldstrength / transmission power
< 135 kHz	low frequency, inductive coupling	72 dBµA/m max
3.155 ... 3.400 MHz	EAS	13.5 dBµA/m
6.765 .. 6.795 MHz	medium frequency (ISM), inductive coupling	42 dBµA/m
7.400 .. 8.800 MHz	medium frequency, used for EAS (electronic article surveillance) only	9 dBµA/m
13.553 .. 13.567 MHz	medium frequency (13.56 MHz, ISM), inductive coupling, wide spread usage for contactless smartcards (ISO 14443, MIFARE, LEGIC, ...), smartlabels (ISO 15693, Tag-It, I-Code, ...) and item management (ISO 18000-3)	60(!) dBµA/m
26.957 .. 27.283 MHz	medium frequency (ISM), inductive coupling, special applications only	42 dBµA/m
433 MHz	UHF (ISM), backscatter coupling, rarely used for RFID	10 .. 100 mW
865 .. 868 MHz	UHF (RFID only), Listen before talk	100 mW ERP Europe only
865.6 .. 867.6 MHz	UHF (RFID only), Listen before talk	2W ERP (=3.8W EIRP) Europe only
865.6 .. 868 MHz	UHF (SRD), backscatter coupling, new frequency, systems under developement	500 mW ERP, Europe only
902 .. 928 MHz	UHF (SRD), backscatter coupling, several systems	4 W EIRP - spread spectrum, USA/Canada only
2.400 .. 2.483 GHz	SHF (ISM), backscatter coupling, several systems,	4 W - spread spectrum, USA/Canada only
2.446 .. 2.454 GHz	SHF (RFID and AVI (automatic vehicle identification))	0.5 W EIRP outdoor 4 W EIRP, indoor
5.725 .. 5.875 GHz	SHF (ISM), backscatter coupling, rarely used for RFID	4 W USA/Canada, 500 mW Europe

Figura 7 – Relação das frequências de operação com a potência máxima, retirado de [7]

## 2.2-Global Positioning System

GPS, do inglês – *Global Positioning System*; em Portugues – Sistema de posicionamento global;

O GPS é um sistema de navegação por satélite criado pelo exército dos Estados Unidos em 1963 para ultrapassar as limitações de navegação existentes. Este sistema fornece a um dispositivo recetor móvel a sua posição, assim como informação horária, independentemente das condições atmosféricas e a qualquer momento e em qualquer lugar na Terra.

Atualmente o sistema GPS é composto por uma rede de 24 satélites em órbita em torno da terra [8]. Esta disposição do sistema GPS é semelhante à que se pode observar na figura 8.



Figura 8 - Sistema GPS, retirado de [8]

Para que se consiga utilizar o sistema GPS, o dispositivo recetor necessita de ter três satélites visíveis e um adicional para fazer o sincronismo, obtendo as coordenadas destes e o tempo, o recetor vai calcular a distância que está em relação a cada um dos quatro satélites. Para tal utiliza o intervalo de tempo entre o instante local e o instante em que os sinais foram enviados.

A localização dos satélites é decodificada através dos sinais de micro-ondas e de uma base de dados interna.

Estão em funcionamento atualmente dois sistemas de navegação por satélite: o GPS americano e o GLONASS russo. Sabe-se que existem também dois novos sistemas em desenvolvimento: o Galileo da União Europeia e o Compass chinês [8] [9].

## 2.3 – GSM

GSM, do Inglês - *Global System for Mobile Communications*; em Português - Sistema Global para Comunicações Móveis.

O **GSM** é a tecnologia móvel para telefones sem fios mais utilizada no mundo, tem mais de um bilhão de utilizadores em mais de 200 países. Para que os utilizadores ao deslocarem-se para outro país possam comunicar foram criados os "acordos de *roaming*" entre operadoras de telefonia móvel.

Este serviço de comunicação tem características que o distinguem dos outros serviços de comunicações móveis, em relação aos seus antecessores a sua principal diferença passa pelos canais de voz que são digitais. O GSM é o padrão de comunicação de segunda geração o 2G, foi criado nos anos 80, vindo de uma cooperação sem precedentes dentro da Europa, o sistema partilha elementos comuns com outras tecnologias utilizadas em telemóveis, como a transmissão ser feita de forma digital e a utilizar células.

Para o consumidor o GSM tem a grande vantagem de introduzir novos serviços com um baixo custo pois a troca de mensagens de texto (sms) teve o seu desenvolvimento para integrar o GSM.

Já para as operadoras a grande vantagem é o baixo custo de infraestrutura causada por competição aberta. A principal desvantagem é que o sistema GSM é baseado na rede TDMA, que é considerada menos avançada que a CDMA. Posteriormente foi desenvolvido o 3G com a introdução da transmissão de dados a uma velocidade bastante superior ao GPRS, tendo sido este avanço designado por EDGE [10].

### 2.3.1 – Funcionamento GSM

Nas comunicações GSM os sistemas utilizam duas gamas de frequência na banda dos 900MHz, para as transmissões do terminal a gama entre os 890 e 915MHz, já para as transmissões da rede é utilizada a gama entre os 935 e 960MHz.

É utilizada uma combinação das tecnologias TDMA e FDMA para fazer a gestão das frequências. Sabendo-se que o FDMA faz a divisão dos 25 MHz disponíveis da gama de frequência em 124 canais com uma largura de banda de 200 kHz e uma capacidade de transmissão de dados na ordem dos 270 Kbps. Posteriormente uma ou mais destas frequências são atribuídas a cada estação base e divididas novamente, em termos de tempo, utilizando o TDMA, em oito espaços de tempo ou *timeslots*.

No sistema GSM o terminal utiliza um *timeslot* para receção e outro para emissão, eles estão separados temporalmente para que o telemóvel não se encontre a receber e transmitir ao mesmo tempo, este processo chama-se *full rate*. Também existe o método designado *half-rate* que consiste na divisão das frequências em 16 espaços, que apresenta qualidade da transmissão é inferior.

De forma a evitar os erros na transmissão e a possibilitar a sua deteção e correção a voz é codificada de uma forma complexa depois a codificação digital da voz é enviada nos *timeslots*, cada um com uma duração de 577 milissegundos e uma capacidade de 116 bits codificados [10].

## 2.4 – Arduino

O *Arduino* é uma plataforma que permite o desenvolvimento de protótipos de sistemas eletrónicos em *hardware*, para tal a *Arduino* tem à venda placas que têm por base um microcontrolador Atmel e a sua programação é feita pela plataforma livre que a marca disponibiliza. Esta plataforma de programação tem uma interação muito simples, o que vai ao encontro do objetivo da marca, que passa por introduzir uma ferramenta simples e barata para qualquer utilizador com menos conhecimentos [11].

A placa mais comum é a *Arduino Uno*, que tem por base um Atmega 328, esta disponibiliza catorze pinos digitais que podem ser configurados como entrada ou saída, seis dos quais poderão ser usados como geradores de PWM. Tem ainda seis entradas analógicas e um oscilador cerâmico a 16MHz. A placa poderá ser ligada ao computador por cabo USB, que fará também a sua alimentação, ou após o microprocessador estar programado poderá ser alimentado por um conversor AC-to-DC [12].

Associado às placas de programação existem ainda *shields*, que são módulos que possibilitam outras funções, tais como, a comunicação ou o controlo de dispositivos. Existem *shields* para comunicações GSM, Wi-Fi, Ethernet etc. A *shield* GSM, utilizando um cartão associado a uma operadora nacional, possibilita o envio de mensagens escritas, chamadas de voz e comunicação de dados [13].

O Arduino no que toca à programação das suas placas disponibiliza bastantes exemplos que simplificam a utilização aos utilizadores como menos *skills* de programação. Para cada *shield* a marca disponibiliza ainda bibliotecas para a sua utilização e dada a grande utilização destes módulos encontram-se exemplos de outros utilizadores em fóruns de discussão para diversas aplicações.

A utilização deste tipo de placa para protótipo é uma excelente forma de simplificar e agilizar o desenvolvimento de projetos dada a simplicidade da sua programação e a variedade de exemplos e ajudas que se encontra *online*.

O IDE para programação Arduino tem como base para programação das placas uma estrutura de programa composto por duas funções, *setup* e *loop*. O *setup* corre uma única vez e tem como função configurar a placa, por outro lado o *loop* corre em ciclo infinito o código presente na sua seção. À semelhança das outras ferramentas de programação de micro controladores é ainda possível adicionar outras funções que podem ser chamadas nas duas funções base.

## 2.5 – Texas CC1110

O módulo CC1110 da Texas Instruments é um *transceiver low power* para comunicações sem fios nas gamas de frequência abaixo de 1GHz. Apresenta uma memória *flash* programável de 32kB e 4kB de memória RAM [14].

Dadas as suas dimensões é um excelente dispositivo para aplicações onde o espaço é fator condicionante pois apresenta um pequeno encapsulamento de 6x6mm.

Para a programação deste *transceiver* podem ser utilizados dois sistemas diferentes, a placa SmartRF04EB ligando a mesma ao computador com um cabo USB, ou então, utilizando o sistema de *Battery Board for System-on-Chips*, fazendo a programação com o *debugger and programmer* também da Texas Instruments. No caso da placa SmartRF04EB esta disponibiliza ainda a comunicação via RS232 com o computador.

No que toca ao *software* estes dispositivos são facilmente programado utilizando o protocolo de comunicação SimpliciTi usando o programa IAR Embedded Workbench.

A figura 9 mostra o diagrama de blocos do *transceiver* CC1110.

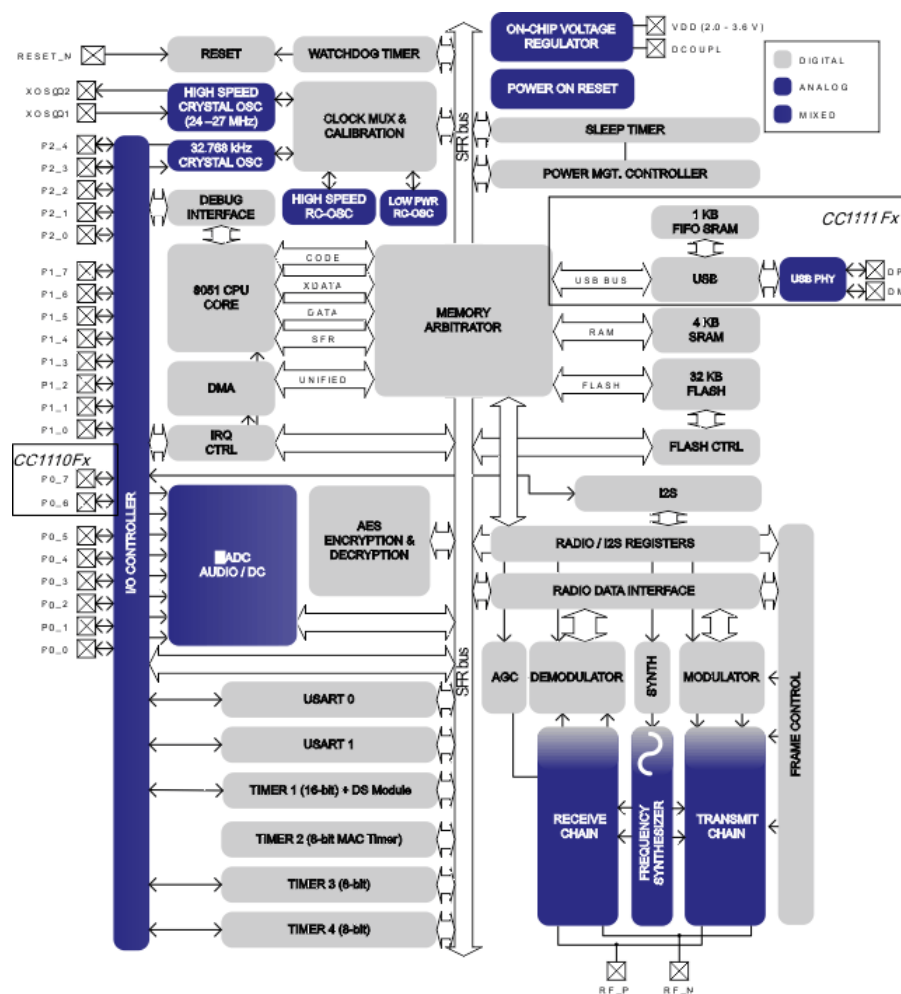


Figura 9 – Diagrama de Blocos CC1110, retirado de [14]

Segundo a informação disponibilizada no *datasheet* pelo fabricante este *transceiver* apresenta consumos de energia muito baixos, nos seus *Power Modes* poderá ter consumos de energia entre os 0.3 e 0.5 $\mu$ A. Mais especificamente, no *power mode 2* apresenta consumo de 0.5  $\mu$ A, no qual o sistema permanece em *sleep mode* e pode ser acordado pela ação de um timer ou de uma interrupção externa. Por outro lado o *power mode 3* o qual tem o menor consumo de energia, 0.3  $\mu$ A, o dispositivo está em *sleep* até que seja acordado por uma interrupção externa [15].

### 2.5.1 – O protocolo SimpliciTi

O protocolo *SimpliciTi* é uma forma simples de programar dispositivos de baixo consumo em redes RF de pequenas dimensões. Estas redes normalmente são compostas por um *Acess Point* que será o master rede e diversos *End Devices*. Os *End Devices* são dispositivos que contem uma fonte de alimentação própria, bateria, e têm de apresentar baixo consumo energético para que não necessitem de manutenção com uma regularidade muito frequente.

Os *End Devices* comunicam apenas do o *Acess Point*, para fazer a comunicação entre *End Devices* esta passa sempre pelo *Acess Point*. A comunicação entre o *Acess Point* e o *End Device* é feita com uma taxa de transmissão e *duty cycle* baixos de forma a que o consumo de energia também seja baixo [16]. Este protocolo de comunicação para além da fácil programação permite a programação de uma rede segura e suporta a aplicação dos *sleep modes*.

Na figura 10 observa-se a forma de uma rede RF configurada com o protocolo *SimpliciTi*.

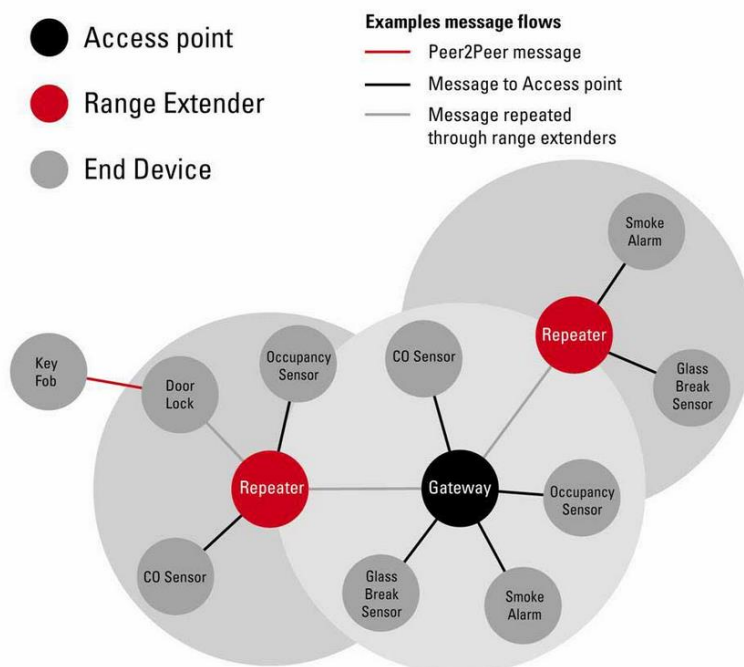


Figura 10 - Rede SimpliciTi, retirado de [17]

## 2.6 – Wake Up Radio

O *Wake up Radio* é um mecanismo que coloca um sistema em modo *sleep*, ou seja, em muito baixo consumo nos momentos em que não tem de ser utilizado, e o acorda sempre que é necessário, passando este a executar as suas funções e quando termina volta ao modo *sleep*. Este procedimento diminui significativamente o consumo de energia nos sistemas, fazendo com que as suas fontes de energia, baterias, não tenham de ser substituídas ou recarregadas com tanta frequência.

Esta tecnologia poderá operar de duas formas, o sistema está em modo *sleep* e é acordado por uma interrupção programada, gerada por um timer, ou o sistema está em modo de baixo consumo e é acordado apenas quando é recebido um sinal que gera uma interrupção externa [18].

Na figura 11, pode observar-se o modo de funcionamento de um sistema WUR. Este está em *sleep mode* até receber um sinal em WuRX, este acorda o microprocessador, é ativada a comunicação e no final da comunicação o sistema volta ao *sleep mode*.

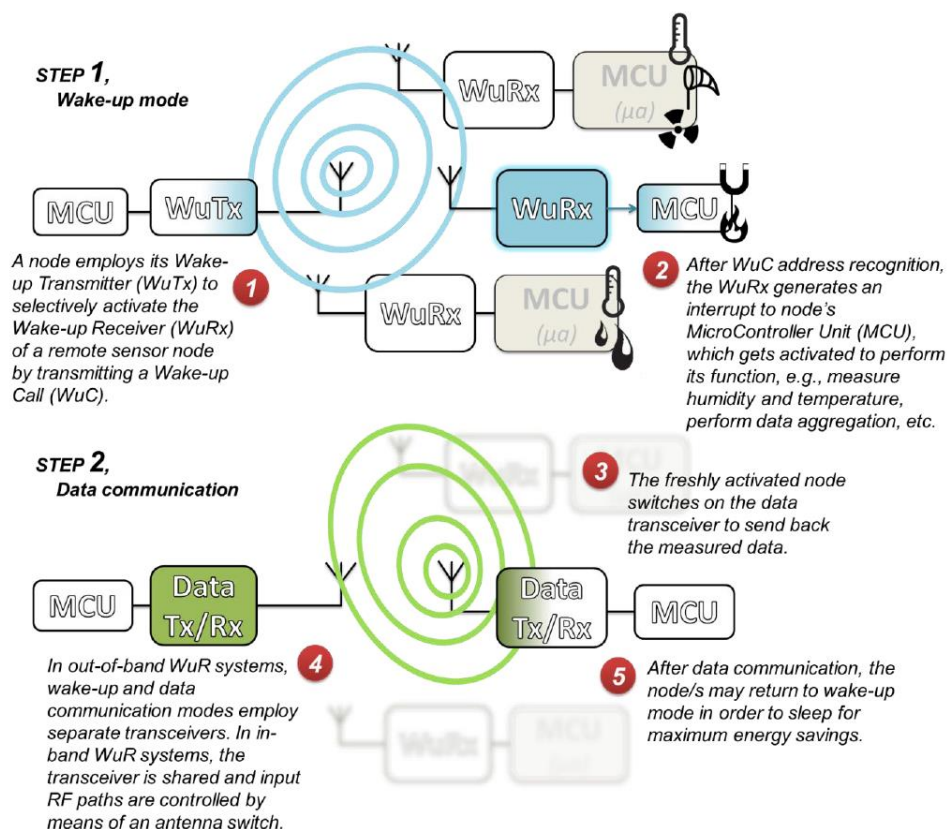


Figura 11 – Wake Up Radio, retirado de [18]



## 2.7 – Projeto IDEIA Universidade de Évora - Bolo alimentar RFID

Em Portugal o sistema utilizado para fazer a identificação dos animais ruminantes consiste na identificação eletrónica através de um bolo de cerâmica. O bolo envolve um *transponder* passivo de 32mm apenas de leitura. O bolo após deglutição pelo ruminante por gravidade deverá alojar-se no retículo-rúmen, onde em condições normais, permanecerá o resto da vida do animal.

Este sistema foi desenvolvido pela Universidade de Évora no âmbito do projeto IDEIA. O *transponder* que é colocado no interior do animal é encapsulado em cristal e envolto em porcelana de forma a evitar a entrada de humidade e resistir aos sucos. É do tipo passivo e tem de ser previamente programado com um número de identificação. Sendo uma tag passiva esta é lida à distância, com um leitor que envia energia eletromagnética, energizando o chip que após analisar a informação recebida envia uma resposta que terá de ser analisada pelo equipamento de leitura. No final do processo o equipamento de leitura mostra o número de identificação do chip do animal.

O dispositivo colocado no animal é constituído por um circuito integrado ligado ao chip de silício onde foi gravada a informação (id do animal), um condensador e uma antena que por sua vez de forma a aumentar a sua eficiência é uma bobina de cobre sobre um núcleo de ferro.

Já o equipamento para leitura da *tag* é um dispositivo mais complexo, o seu núcleo fundamental é o módulo de rádio frequência que é tem como funções a emissão, receção e interpretação do sinal eletromagnético. Os restantes componentes passam por uma fonte de alimentação, um processador, uma antena que terá dimensões e formas variadas dependendo da sua utilidade e um ecrã onde será visualizado o número de identificação ou uma ligação a um computador ou a um equipamento que atuará em função da informação recebida [19]. A figura 12 ilustra um bolo ruminal para animais bovinos.



Figura 12 – Bolo ruminal para bovinos, retirado de [20]

## 2.8 – Raça Marinhua

A raça Marinhua é proveniente do cruzamento de animais do tronco Mirandês com Minhoto, aparecendo na zona lagunar do Baixo Vouga, esta raça dada as suas características fisiológicas foi durante muitos anos o auxílio dos agricultores nas lavouras exigidas pela cultura do arroz, característica desta região. Este bovino melhorou as condições de vida e de trabalho do agricultor, sendo mesmo este um fator de fixação das populações às suas aldeias.

Sendo um animal com características únicas, de docilidade, fácil manejo e grande adaptabilidade, começaram também a ser utilizados pelos agricultores em trabalhos tais como sachas, abertura de regos, lavouras, sementeiras, transportes, tirar água à nora e arte xávega, tornando-se indispensáveis nas fainas agrícolas.

Posteriormente com a industrialização, o trabalho desenvolvido pelos animais marinhos foi secundarizado, aumentando a produção leiteira, que aqui encontrou um ambiente propício à criação de uma bacia leiteira de importância relevante no todo nacional.

Devido a esse processo as explorações agrícolas transformaram-se em agropecuárias e as vacas marinhos foram substituídas por animais de leite. Ainda assim dada a sua forte ligação ao homem, em quase todas as explorações permaneceu pelo menos um animal desta Raça.

Como muitos agricultores tiveram a necessidade de encontrar um complemento económico dos seus agregados familiares, este passou pela agricultura a ser desenvolvida em *part-time*, fins-de-semana e depois das horas de trabalho nas fábricas, tendo sido um dos factos que contribuiu para o não desaparecimento total da Raça Marinhua [21].

### 2.8.1 – Localização Geográfica

Esta raça encontra-se maioritariamente numa zona ocidental, litoral ou marinha de origem sedimentar, caracterizada pela ausência de relevo, grande humidade e fracas oscilações térmicas. Existem alguns focos destes animais em localizações onde os criadores encontraram condições edafo-climáticas similares às da zona do Solar e onde puderam ter continuidade as práticas ancestrais de manejo e de alimentação dos animais.

A zona principal, denominada por Solar da Raça, é delimitada naturalmente a oeste pelo mar, a Norte e a Este pelas montanhas circundantes e a sul pelas alterações a nível dos solos, dos sistemas agrícolas e das culturas praticadas.

O mapa com esta localização geográfica pode ver-se na figura 13.



Figura 13 - Distribuição geográfica Raça Marinhola, retirado de [22]

Podem assim enumerar-se a constituição do Solar da Raça, que é composto pelos efetivos existentes nos concelhos de Ovar, Murtosa, Estarreja, Aveiro, Ílhavo e Vagos. A área de dispersão ou zona de expansão desta raça estendeu-se a outros concelhos deste distrito sendo notória a sua presença em Albergaria-a-Velha, Sever do Vouga, Oliveira do Bairro, Águeda, Anadia e Mealhada. Além destes deve ainda ter-se em conta as freguesias de Ul, Loureiro, Pinheiro da Bemposta e Palmaz no concelho de Oliveira de Azeméis. No distrito de Coimbra abrange os concelhos de Mira, Cantanhede, Figueira da Foz, Montemor-o-Velho, Soure e Coimbra [22].

## 2.8.2 - Maneio Produtivo

Identificam-se dois sistemas de produção da Raça Marinhola. Um mais tradicional, o intensivo, que representa a maior parte das explorações do efetivo. No qual se distinguem três maneios produtivos perfeitamente definidos;

- **Intensivo ao ar livre:** Muitos destes animais pastam alguns meses por ano, regressando ao estábulo diariamente ou quando as condicionantes climáticas o exigem. A sua alimentação é à base de pastagens naturais ou semeadas, complementadas com cereais, palhas e algumas leguminosas.
- **Estabulação permanente:** Explorações de muito reduzida dimensão, localizadas quase na sua totalidade em zonas serranas, com solos pobres e pequenas parcelas. Os criadores fornecem a totalidade dos alimentos e água aos seus animais, que permanecem confinados ao longo de todo o ano. A sua alimentação consiste basicamente em fenos, palhas, cereais, milho e alguns subprodutos de outras culturas.

- A terceira situação reflete a reconversão das explorações de vocação leite, que possuem instalações permanentes, com maior capacidade e com técnicas de produção e manejo de cariz intensivo. Nestas situações a alimentação é baseada na silagem de milho, fenos, palhas e algum complemento concentrado.

O segundo sistema de produção é o extensivo, que representa uma importante fatia no efetivo total da Raça. Estas explorações estão por norma associadas a criadores mais jovens e muitos com formação média ou superior [22].

Na figura 14 podem observar-se os animais desta espécie num dos seus locais de manejo.



**Figura 14 – Vacas da raça Marinhoeira no local de Maneio, retirado de [22]**

## 3 - Arquitetura e Implementação do Sistema

---

Neste capítulo inicialmente é apresentada a estrutura geral do sistema desenvolvido através de uma explicação detalhada da arquitetura dos dois módulos implementados. Posteriormente serão expostos todos os detalhes concretos da implementação desde as simulações em ADS até à implementação do sistema final. O capítulo em ambas as seções encontra-se dividido em duas subsecções: Arquitetura do Módulo do Drone e Arquitetura do Módulo do Animal.

No que diz respeito à implementação, em ambas as subsecções faz-se a separação entre a componente de *hardware* e *firmware* efetuando-se sempre a ligação entre ambas. Serão ainda explicados os detalhes e testes à implementação do sistema em *Hardware* e também do código implementado e funções utilizadas.

### 3.1 – Arquitetura

O trabalho desenvolvido nesta dissertação de Mestrado apresenta o projeto e implementação de um sistema de localização para animais que tem como principal característica um consumo energético muito baixo, de forma a potenciar a autonomia do sistema durante longos períodos de tempos. Pretende-se ainda fazer uma boa integração do módulo com o animal para que este seja resistente às condições a que é exposto. O sistema divide-se globalmente em dois módulos, o módulo do drone e o módulo do animal. Estes apresentam como características principais:

#### **Módulo do Drone:**

- Texas CC1110 – Access Point;
- Ligação por UART entre o rádio Texas CC1110 e Arduino;
- Utilização de Arduino com Shield GSM para envio dos dados recebidos pelo rádio;
- Ligação de módulo GPS ao Arduino para receber localização do Drone;
- Gerador sinal WUR;

#### **Módulo do Animal:**

- Texas CC1110 – End Device;
- Circuito Wake Up Radio;
- RF to DC converter;
- Comparador Low Power;
- Atmega 328 em modo ultra low power;
- Antena
- Integração com o Animal

Na figura 15 apresenta-se um diagrama onde se pode identificar a estrutura do sistema e a constituição dos seus dois módulos.

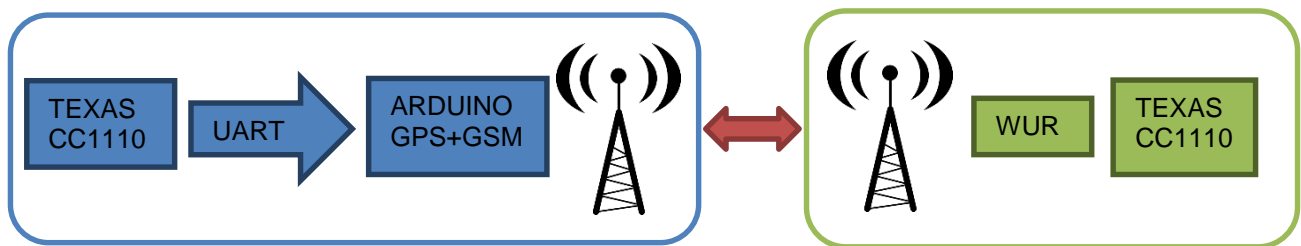


Figura 15 - Blocos do Sistema

### 3.1.1-Arquitetura do Módulo Drone

Nesta seção é apresentada a arquitetura do módulo a utilizar no *Drone* desenvolvido no âmbito desta dissertação de Mestrado. Tendo em conta que se pretende implementar um módulo que envie um sinal de *Wake Up*, receba dados via rádio, obtenha as coordenadas GPS e por fim envie a informação recolhida via GSM terão de se articular e juntar diversas tecnologias para chegar a um módulo com todas estas funcionalidades.

Assim, tal como se observa no diagrama de blocos, figura 15, este módulo consiste na junção de um Arduino com uma Shield GSM e um módulo GPS a comunicar via UART com um rádio CC1110.

#### 3.1.1.1 – GPS

No que toca ao módulo GPS, como já foi explicado anteriormente, apenas funciona após ter em linha de vista 3 satélites de forma a triangular os sinais e calcular a sua localização, tal como se poder observar na figura 16. Depois do GPS adquirir sinal fornece as coordenadas da sua localização de forma continua desde que se mantenha com linha de vista desimpedida para o céu.



Figura 16 - Triangulação GPS, retirado de [23]

### 3.1.1.2 – GSM

A shield GSM tal como um telefone possui um cartão SIM para que seja possível estabelecer a ligação à rede. Do mesmo modo que um telemóvel, para estar em condições de funcionamento requer uma inicialização do módulo, acesso ao SIM, sendo necessária a introdução do código PIN para desbloqueio. No final se o processo ocorrer sem falhas há o registo na rede.

### 3.1.1.3 – Texas CC1110

O rádio Texas CC1110, programado com o protocolo SimpliciTi, tem como função estabelecer a comunicação entre os rádios e, após a ligação o rádio presente no módulo do *Drone* recebe o ID do animal, este ID será depois passado ao Arduino pela UART.

A comunicação entre o Rádio CC1110 e o Arduino é feita pela UART. Para tal no rádio CC1110 foi configurada a UART de forma à informação ser enviado para os pinos I/O com um determinado baud rate, tamanho de mensagem predefinido e com carater de terminação de mensagem definido. Por outro lado no Arduino, foi configurado o *baud rate*, e a placa aguarda pela receção de dados. A transmissão de um ID termina quando é recebido o carater que indica o final, tipicamente o ‘\n’.

### 3.1.1.4 - Gerador Sinal de Wake Up

Este módulo tem ainda a função de enviar um sinal de *Wake Up* ao módulo do animal para que este passe do estado de *sleep* para *on* de forma a haver comunicação entre os rádios.

Nos testes efetuados para simular este sinal utilizou-se um dos geradores de sinais disponíveis no laboratório. A potência a emitir por este depende do *link budget* do sistema, ou seja, sabendo a sensibilidade do WUR do módulo do animal e a distância a que se pretende que o módulo do drone opere, calculando as perdas no vazio pode-se então determinar a potência a emitir pelo gerador de sinais.

Embora não tenha sido desenvolvido nesta dissertação, numa situação real, poderia ser utilizado um VCO para gerar a onda sinusoidal. Associado a este teria de ser utilizado um *booster* para regular a tensão de Tune do VCO porque esta tensão é superior aos 5V disponíveis para a alimentação. Estes dispositivos geram um sinal com uma potência entre os 0dBm e os 10dBm.

Para a propagação do sinal ter-se-ia que utilizar uma antena adaptada à frequência de trabalho, 868MHz, seria expectável que esta introduzisse um ganho entre 5dBi e 10dBi, uma das que tínhamos disponíveis no laboratório introduziria um ganho de 5dBi. Se o ganho do VCO adicionado ao ganho da antena não fossem suficientes para que o sinal à entrada do módulo do animal tivesse uma potência igual ou superior à sua sensibilidade, poderia ainda ser adicionado um amplificador ao VCO e deste modo a potência emitida poderia ser amplificada até aos limites legais permitidos para a frequência de trabalho.

### 3.1.2-Arquitetura do Módulo do Animal

Nesta secção é apresentada a arquitetura do módulo do Animal desenvolvido. Como foi referido inicialmente esta dissertação tinha como objetivo o desenvolvimento de um sistema de localização para animais bovinos da raça Marinhoa, com elevada autonomia e que fossem facilmente integrados com os animais. Apresenta-se então o módulo desenvolvido para esse efeito, um sistema de muito baixo consumo que opera em modo *sleep* de forma a economizar o máximo de energia e ativo para comunicar. Este dispositivo é composto por um circuito *Wake Up Radio*, um comparador de baixo consumo, um micro controlador programado em modo poupança de energia e por um rádio Texas CC1110.

#### 3.1.2.1 - Wake Up Radio

O WUR é constituído por um circuito de adaptação da antena à frequência de trabalho e dois estágios de retificação, feitos por díodos de *schottky*. Estes estágios de retificação fazem a transformação de sinal RF para tensão DC. O valor de tensão DC será analisado por um comparador de forma a verificar se está acima ou abaixo da referência.

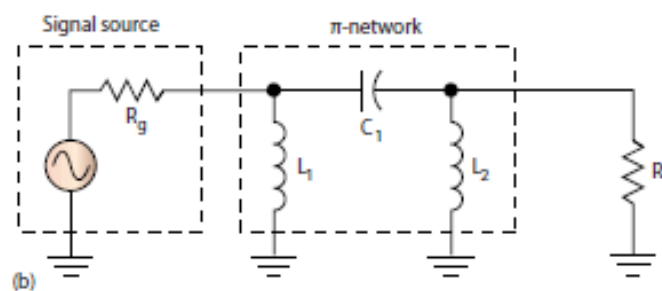


Figura 17 - Malha de adaptação em  $\pi$ , retirado de [24]

Para fazer a adaptação entre a impedância da antena e a do circuito de WUR foi escolhida uma malha de adaptação em PI, como a ilustrada na figura 17.

Como o micro processador só faz o *wake-up* quando a tensão à entrada do pino de interrupção passar de 0 para 1, ou seja, de um valor de tensão 0V para um valor acima de  $\frac{1}{2}$  de  $V_{DD}$ , neste caso 1.5V, surgiu a necessidade de introduzir um comparador de baixo consumo. O comparador utilizado para esta aplicação é um módulo de baixo consumo, o LTC1540, este possui uma fonte de tensão interna com valor conhecido, 1.186V, com esta pode-se arbitrar o  $V_{Ref}$  com recurso a um divisor resistivo sem aumentar significativamente o consumo de corrente da montagem.

Quando a tensão proveniente do RF to DC converter é superior ao valor de  $V_{ref}$ , o comparador coloca na sua saída o valor de  $V_{DD}$ . Com a saída ligada ao micro processador o seu pino de *interrupt* passa a 1 e ocorre o *wake up*.

Como em testes práticos se comprovou que o CC1110 em *sleep mode* apresentava um consumo energético demasiado elevado para esta aplicação, como se irá explicar mais em



detalhe futuramente neste documento, teve de ser escolhido um micro processador que em modo *sleep* apresentasse um consumo energético muito baixo, da ordem dos microampere. O micro escolhido foi Atmega 328 que em modo sleep tem um pino I/O a aguardar um valor DC que gera uma interrupção acordando o microprocessador.

O Atmega 328 por sua vez, quando acorda, tem um pino cuja sua tensão é igual à tensão de alimentação durante o tempo suficiente a que este estabeleça comunicação entre os rádios, alimentando assim o rádio CC1110 para que este comunique com o *Acess Point* e envie o seu ID.

Depois deste processo o módulo volta ao estado de *sleep* e consequente muito baixo consumo até voltar a receber um sinal de *wake up*.

### **3.2.1.2 – Integração do Sistema com o Animal**

Sendo um dos objetivos desta dissertação integrar o sistema de localização com o animal de modo a que este não seja suscetível de ser reconhecido por possíveis assaltantes mas também para que o sistema seja resistente às condições a que é exposto. O sistema tem de ter uma caixa que seja resistente a pancas, poeiras e água, pois estes animais tem como característica andar dentro da ria de Aveiro.

## 3.2 – Implementação

### 3.2.1-Módulo do Drone

#### 3.2.1.1 - Arduino e GSM

O modelo de projeto pensado inicialmente para esta dissertação tinha como objetivo ter um *drone* a sobrevoar um campo e a identificar os animais, ou então, ter uma estação fixa que fizesse a identificação dos animais no campo. Para a comunicação rádio entre o *drone* e o animal utilizaram-se os rádios CC1110 mas era também necessário fazer a receção de dados GPS e envio da informação recebida pelo rádio e da localização via GSM para o que se utilizou a placa Arduino Uno. Esta placa e a *shield* GSM encaixam formando um módulo único, já o GPS tem de ser ligado aos pinos alimentação e aos de comunicação.

A montagem do Arduino com a *Shield* GSM pode ser observada na figura 18.



Figura 18 - Arduino e Shield GSM

Para o funcionamento da Shield GSM, começou-se por testar um programa de envio de SMS presente nos exemplos do IDE Arduino. Como já foi referido anteriormente no Capítulo II, o IDE do Arduino tem diversas bibliotecas e exemplos de código de forma a tornar a utilização deste tipo de módulos mais acessível, como o estabelecimento das comunicações GSM não era o foco desta dissertação optou-se pela utilização deste módulo.

Desta forma, no programa de envio de SMS, começa-se por se definir o PIN do cartão GSM utilizado, o número do destinatário e ainda o tamanho máximo da mensagem. No início é também inicializada a biblioteca GSM, posteriormente são iniciadas as comunicações via porta série e feito o acesso ao cartão SIM validando o PIN definido anteriormente. Quando o PIN está correto é feito o acesso à rede e em *loop* o programa envia a mensagem predefinida para o destinatário, escrevendo-a também na porta série.

### 3.2.1.2 - GPS GTPA100

O módulo GPS utilizado tem como base de funcionamento o protocolo NMEA Data, protocolo utilizado para as comunicações entre os diversos equipamentos eletrônicos da marinha [25].

Para a sua programação e testes iniciais, foi também utilizado o Arduino com recurso às bibliotecas `SoftwareSerial` e `TinyGPS`. A biblioteca `SoftwareSerial` tem funções que permitem fazer a comunicação entre o Arduino e o GPS. Este módulo funciona em locais onde tenha o céu visível e sem obstruções.

O programa para recolha de dados GPS começa com a configuração da UART, depois entra no *loop* onde é verificado se o GPS já tem sinal, caso já tenha os dados serão impressos no terminal da porta série. Cada ciclo faz a verificação descrita acima e uma nova impressão da latitude e longitude.

Dado que este módulo iria ser utilizado conjuntamente com a shield GSM verificou-se que a biblioteca `SoftwareSerial` não era compatível com a biblioteca que gere o GSM então para o uso conjunto teve de se passar a utilizar a biblioteca `AltSoftSerial`. A principal diferença entre as duas bibliotecas, é a localização dos pinos que são utilizados para comunicação serial entre o Arduino e o GPS.

Na figura 19 observa-se o esquema de ligações entre o Arduino e o módulo de GPS.

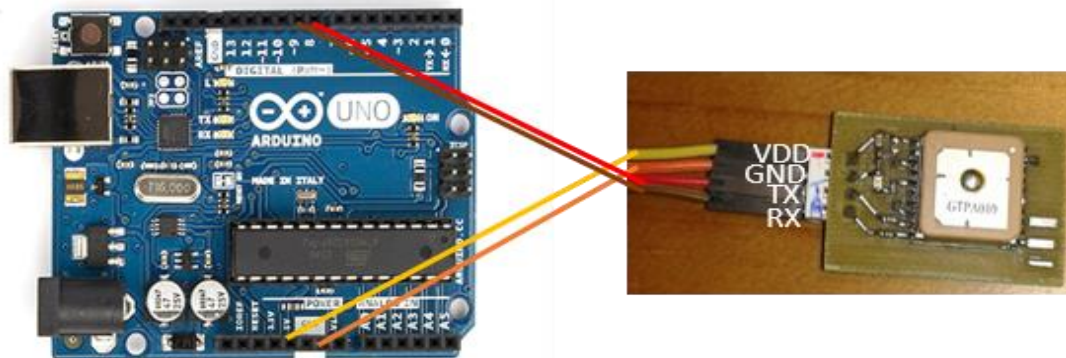


Figura 19 - Esquema de Ligação GPS Arduino

### 3.2.1.3 - Rádio Texas CC1110

No módulo do drone o rádio, Texas CC1110, vai estar montado nos SOC-BB também da Texas. Este dispositivo tem como principal função a alimentação do rádio e permite ainda programação e acesso aos pinos e I/O.

O *firmware* que suporta a comunicação entre os rádios CC1110 foi desenvolvido utilizando o protocolo SimpliciTi, em linguagem C, recorrendo ao ambiente de desenvolvimento integrado e compilador *IAR Workbench*. Inicialmente foi programada a comunicação entre os rádios e posteriormente o envio de dados pela UART via pinos I/O. O

envio de dados pela UART foi apenas configurado para o módulo do Drone, ou seja, no Access Point da rede.

Dado que o módulo do animal tem por base o mesmo protocolo de programação, não será feita referência às funções do SimpliciTi na secção seguinte.

<b>Protocolo SimpliciTI</b>		<b>Tabela 2 - Função do protocolo SimpliciTI</b>
<b>Initialization Interface</b>		
void BSP_Init(void)		Inicia hardware específico.
smplStatus_t SMPL__Init(uint8_t (*callback)(linkID_t))		Inicia o rádio e a stack do protocolo SimpliciTI.
<b>Connection Interface</b>		
smplStatus_t SMPL_Link(linkID_t *lid)		Envia um link broadcast e espera pela resposta. Após a receção de resposta é feita a ligação entre os dois rádios.
smplStatus_t SMPL_LinkListen(linkID_T *lid)		O rádio espera por um broadcast. Ao receber um, envia uma resposta.
<b>Data Interface</b>		
smplStatus_t SMPL_SendOpt( linkID_t lid, uint8_t *msg, uint8_t len, txOpt_t opts )		Envia application data para o peer especificando as opções de transmissão.
smplStatus_t SMPL_Send( linkID_t lid, uint8_t *msg, uint8_t len )		Envia application data para os peers.
smplStatus_t SMPL_Receive( linkID_t lid, uint8_t *msg, uint8_t *len )		Verifica a fila de frames de entrada para qualquer frame recebido de qualquer peer.
<b>Device Management: IOCTL Interface</b>		
smplStatus_t SMPL_Ioclt( ioctlObject_t obj, ioctlAction_t act, void *val )		Formato para todas as chamadas ioctl.
<b>Callback Interface</b>		
uint8_t sCallBack(linkID_t lid)		Função para o retorno da chamada quando existe um endereço valido para o destinatário.
<b>Extended API</b>		
smplStatus_t SMPL_Unlink(linkID_t lid)		Função para desligar uma ligação de forma disciplinada.
<b>UART</b>		
void UART_Init(uint8_t uartNumber)		Inicia uma UART definida no uartNumber.
uint8_t UART_Send(uint8_t* buff, uint16_t size, uint8_t uartNumber)		Envia uma mensagem pela UART.

Na tabela 3 apresentam-se as principais funções de operação do radio.

IOCTL_OBJ_RADIO	IOCTL_ACT_RADIO_SLEEP	Coloca o rádio em modo Sleep
	IOCTL_ACT_RADIO_AWAKE	Acorda o rádio do modo sleep
	IOCTL_ACT_RADIO_RXON,	Ativa a receção do rádio
	IOCTL_ACT_RADIO_RXIDLE,	Coloca o rádio em estado IDLE
	IOCTL_ACT_RADIO_SETPWR	Regula a potência de saída

**Tabela 3 - Principais Funções IOCTL Radio**

Nas tabelas 2 e 3 são explicadas as principais funções do protocolo SimpliciTi utilizadas neste projeto. A maioria das funções devolve um código de erro indicando o tipo de erro que ocorreu durante a sua execução. A avaliação do erro deve ser feita pela função invocadora.

Para o desenvolvimento das tabelas anteriores, foi utilizada a informação contida no documento SimpliciTi API [26].

## Descrição do Código do Access Point

O *Access Point* é o dispositivo que gere as ligações com a rede, este é o master e os *End Devices* são os *Slaves*, todos os ED tem de se ligar ao AP.

A configuração deste módulo começa com a inicialização do BSP e da UART, seguida do início do rádio, da *stack* e do protocolo SimpliciTi. Depois das inicializações o programa entra em *loop* onde o AP fica a aguardar um pedido de *Join* enviado por um dos ED. Quando há um pedido ocorre uma interrupção sendo incrementado o número de pedidos de ligação. Faz-se a ligação entre o AP e o ED passa a haver comunicação rádio entre os dois dispositivos, após o AP receber as mensagens via rádio este envia-as pela UART. No final o AP volta ao *loop* ficando a aguardar uma nova ligação de outro ED.

## Configuração da UART

### CC1110

O rádio Texas CC1110 dispõe de duas UART, a UART0 e a UART1, cada uma com a possibilidade de configuração de duas alternativas para a localização dos pinos de RX e TX.

Foi escolhida a UART0 na alternativa 1, nesta o pino 3 corresponde ao TX e o pino 2 ao RX. Como queremos apenas fazer a transmissão de dados pela UART do rádio para o Arduino, é apenas necessário ligar o TX. Para que as placas tenham a mesma referência tem de ser ligada ainda a massa dos pinos I/O do rádio à massa dos pinos digitais do Arduino. Pode ver-se no anexo A, secção Tabela Pinos I/O CC1110, a figura com o mapa de pinos I/O do rádio CC1110.

### Arduino

Inicialmente para fazer testes à receção de informação via UART foi utilizado um programa que tinha como função verificar a receção de um novo carater. Caso houvesse um, tinha de adicioná-lo a uma *string* que no final daria origem à palavra recebida. Em cada receção o programa verificava se o carater recebido era o carater terminal, o ‘\n’, caso fosse a palavra terminava e o programa fazia a impressão da palavra ficando à espera de um novo carater.

Mais à frente de forma a introduzir robustez ao programa introduziu-se também uma verificação de tamanho para a palavra recebida de forma a evitar a receção de ID’s inválidos.

Fisicamente teve de se estabelecer a ligação entre o Arduino, como a comunicação é unidirecional do CC1110 para o Arduino, foi necessário ligar apenas o Pino TX do CC1110 e o pino RX do Arduino.

Na tabela 4 podem ver-se as correspondências nas ligações entre o CC1110 e o Arduino para a comunicação UART.

Arduino	CC1110
RX – 0	TX – 3
GND – GND_Digital	GND -

Tabela 4 - Ligações Arduino - CC1110

### Firmware Arduino

Já foi explicado o funcionamento de cada um dos módulos individualmente, vai-se agora passar a explicar o funcionamento do programa que agrupa todas as funções. Este tem como função recolher os dados GPS, receber informação do rádio pela UART e enviar ambos os dados numa mensagem de texto via GSM.

Neste programa começa-se pela inicialização de variáveis e introdução e número de telefone a enviar a SMS com informação. O segundo passo é inicializar o GPS e aguardar que este adquira sinal, quando isso acontece inicia-se o módulo GSM fazendo a validação do código PIN e o acesso à rede.

Posteriormente o programa em *loop* aguarda a receção de dados pela porta série, ou seja, o ID do animal recebido via UART, transmitido pelo rádio. Quando a mensagem recebida tem o tamanho predefinido (neste caso cinco) ou é recebido o carater de terminação, é feita a recolha da localização GPS. Como estes dados são recolhidos em formato *char*, é feita a sua conversão para *string* de forma a poderem ser concatenados e enviados na mensagem que agrupa o ID do animal e a localização onde o *drone* se encontra, a latitude e longitude.

No final o programa envia a sms e fica de novo em espera até receber um novo ID para repetir o processo.

Na tabela 5 podem observar-se as correspondências entre as ligações no Arduino e no GPS e no rádio Texas CC1110.

Arduino	CC1110
RX – 0	TX – 3
GND – GND_Digital	GND -
	<b>GPS</b>
5V	VDD – 1
GND	GND – 2
8 Digital	TX – 3
9 Digital	RX -4

Tabela 5 - Ligações Arduino - CC1110 e GPS

## 3.2.2-Módulo do Animal

### 3.2.2.1 – Wake Up Radio

#### 3.2.2.1.1 - RF to DC Converter

Para acordar o módulo do animal é necessário que este receba um sinal que acorde o micro processador. Quando o micro processador acorda, alimenta o rádio sendo então possível estabelecer a comunicação entre módulos. O sinal recebido é uma portadora RF à frequência de trabalho, 433MHz, o objetivo do módulo RF to DC converter é converter a onda de rádio frequência recebida para um sinal DC a ser analisado pelo comparador.

De forma a desenvolver este módulo de forma eficiente, começou-se por escolher a topologia da malha de adaptação à antena, uma malha em  $\pi$  ( $\pi$ ).

Na fase seguinte, recorrendo ao ADS, arbitrando a potência à entrada do circuito com o valor -25dBm, fizeram-se simulações de forma a identificar quantos estágios de duplicadores de tensão seriam mais eficientes para essa gama de potências. Para cada uma das topologias procedeu-se à otimização da malha de adaptação ao respetivo circuito. Os resultados destas simulações podem observar-se na figura 20.

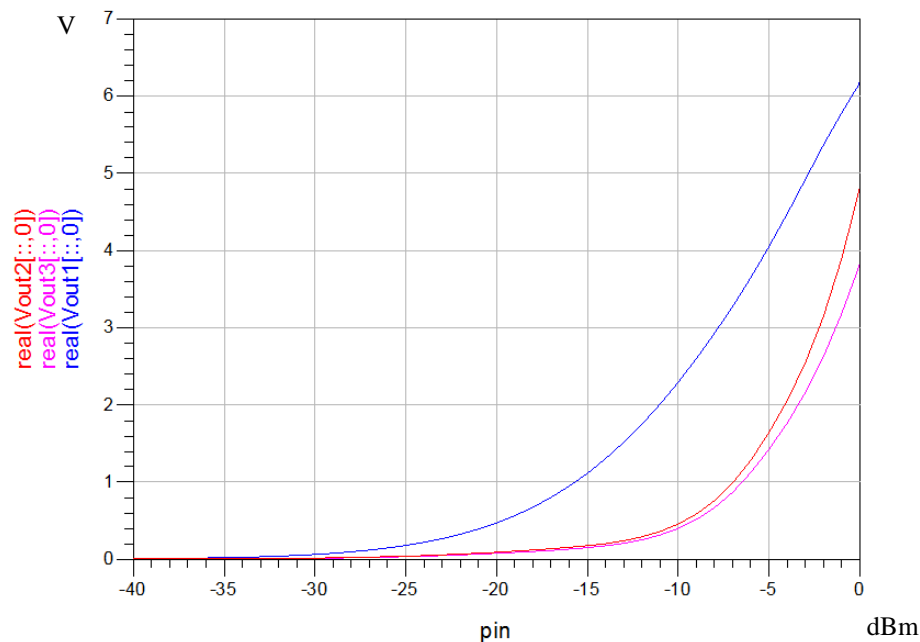


Figura 20 - Tensão versus potência para vários estágios de retificação

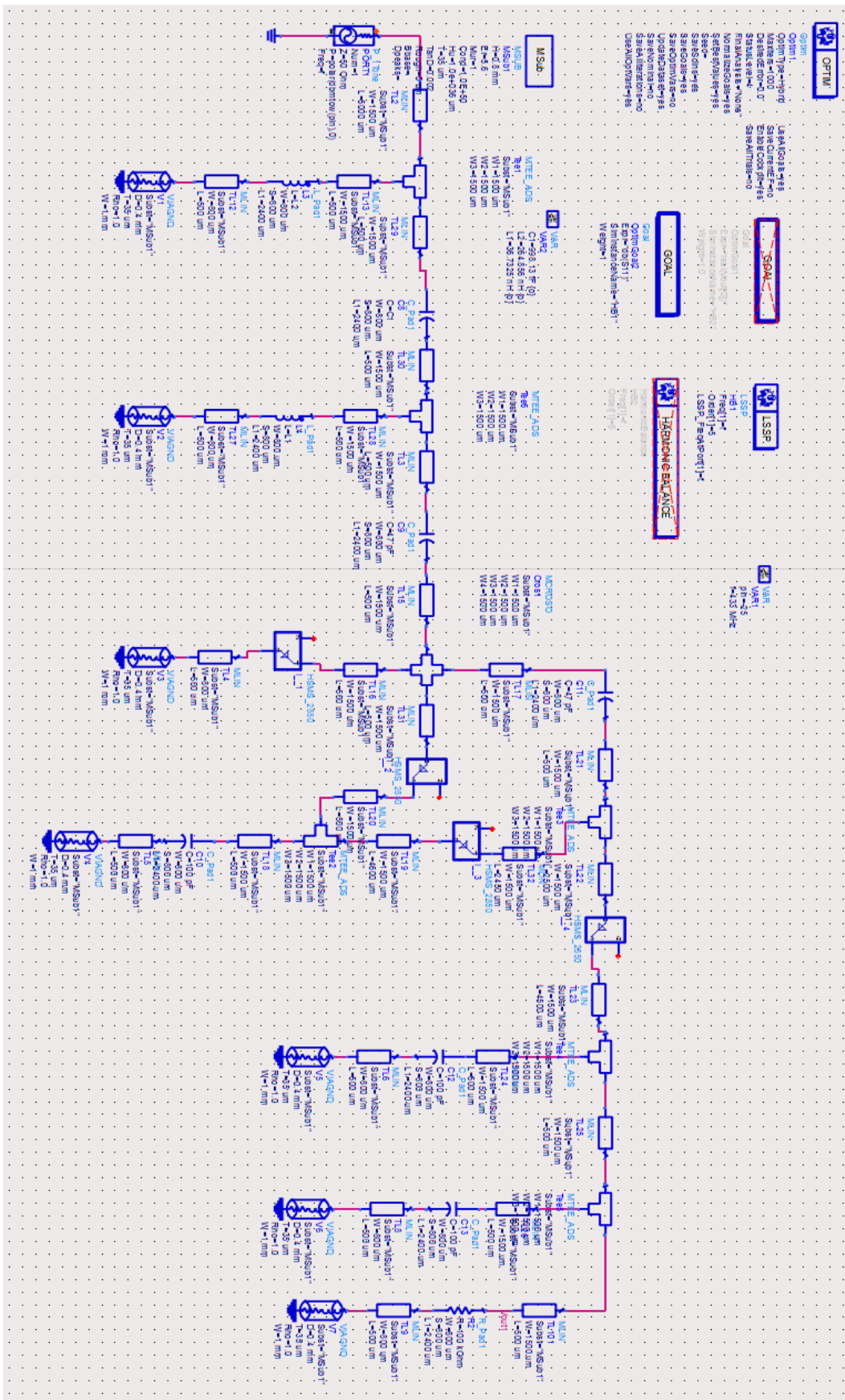
A linha azul representa a tensão para um circuito com dois estágios de retificação, a linha vermelha para três estágios e a linha cor-de-rosa para quatro estágios. Assim, com base nestes resultados, verificou-se que dois estágios de retificação seria a melhor configuração e passou-se então à otimização dos valores dos condensadores, de modo a identificar os melhores valores a utilizar.

Após este procedimento, introduziram-se os troços de linha entre os componentes e nas ligações, introduziram-se as características do substrato e por fim correu-se uma otimização de forma a identificar os valores dos componentes a utilizar na malha de adaptação.

Esta otimização foi feita tendo em conta o parâmetro  $S_{11}$  para uma potência à entrada de  $-25dBm$ .

Na figura 21 pode observar-se o esquemático do circuito em ADS.





**Figura 21 - Esquemático malha adaptação e estágios de duplicador de tensão**

Com a otimização obtida em ADS para a frequência de 433MHz, o circuito fica adaptado com um S11 de -20dB, como se pode observar na figura 22.

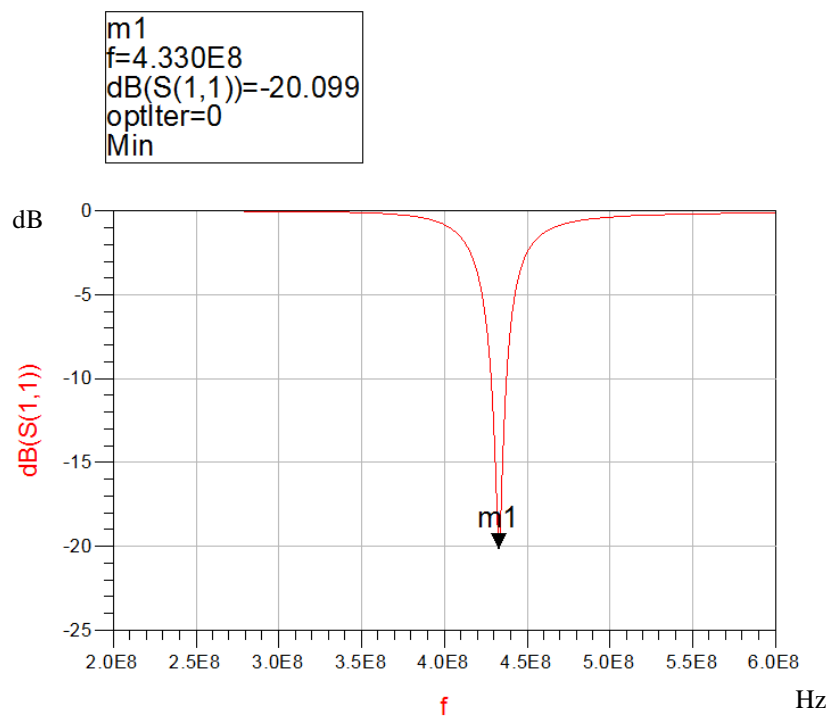


Figura 22 - Adaptação da Antena

Na figura 23 pode observar-se a relação da tensão com a potência obtida na simulação em ADS.

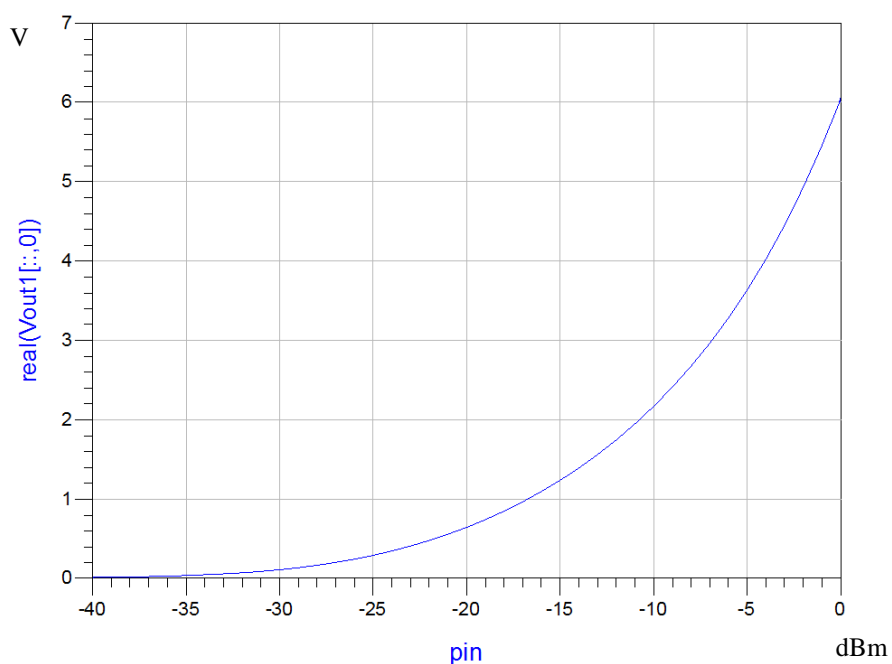


Figura 23 - Relação da Tensão com a Potencia

No simulador, resultantes da otimização do circuito de *wake up radio* com dois estágios de retificação obtiveram-se como valores para os componentes da malha de adaptação,  $C1 = 998.13 \text{ fF}$ ,  $L1 = 264.856 \text{ nH}$  e  $L2 = 36.73 \text{ nH}$ .

Na montagem do primeiro circuito experimental, foram montados componentes com os seguintes valores:  $C1 = 1 \text{ pF}$ ,  $L1 = 270 \text{ nH}$  e  $L2 = 36 \text{ nH}$ . Nesta placa de testes, obteve uma adaptação com  $S11 = -10 \text{ dB}$  à frequência de 390 MHz.

Fizeram-se alguns testes quer em simulador quer na prática, alterando os valores dos componentes e concluiu-se rapidamente que seria o valor da indutância  $L2$  que iria fazer variar a frequência a que o circuito estaria adaptado, ou seja, diminuindo o valor de  $L2$  iria fazer com que a frequência a que o circuito estava adaptado aumentasse sem comprometer a qualidade da adaptação no que toca ao  $S11$ , como se pode observar na tabela 6.

$L2$	Frequência	$S11$
36 nH	390 MHz	-10 dB
33 nH	405 MHz	-10 dB
27 nH	450 MHz	-9 dB

Tabela 6 – Variação na Frequência de Adaptação em função de  $L2$

Para a frequência de trabalho, 433 MHz, o valor de  $S11$  na configuração referida acima, com  $L2 = 36 \text{ nH}$ , era  $S11 = -4 \text{ dB}$ , não estando assim devidamente adaptada. Como posteriormente a frequência do *Wake Up Radio* foi alterada para 868 MHz não se fizeram mais testes práticos para obter o circuito com a melhor adaptação à frequência de 433 MHz.

### 3.2.2.1.2 - Wake Up Radio - 868 MHz

O módulo de WUR inicialmente foi desenhado e otimizado para operar à frequência de 433 MHz. Numa fase mais avançada do trabalho, tendo em conta fatores como o alcance da transmissão e a dimensão da antena, foi alterada a frequência de trabalho para 868 MHz. Voltou-se a otimizar a malha de adaptação para a nova frequência.

Obtiveram-se no ADS os seguintes valores,  $C1 = 583 \text{ fF}$ ,  $L1 = 277.6 \text{ nH}$  e  $L2 = 10 \text{ nH}$ , para os componentes da malha de adaptação.

A figura 24 mostra os resultados da otimização dos componentes para a adaptação do circuito à frequência de trabalho com  $S11 = -20.53 \text{ dB}$ .

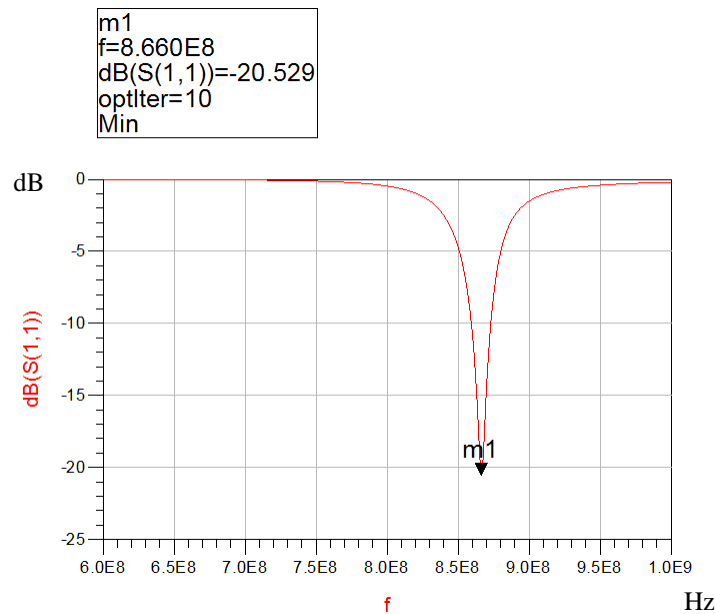


Figura 24 - Adaptação do Circuito WUR 868MHz

Num primeiro ensaio experimental montou-se a malha de adaptação com os componentes  $C1 = 500 \text{ fF}$ ,  $L1 = 270 \text{ nH}$  e  $L2 = 10 \text{ nH}$ , com os quais a 868MHz o S11 tinha o valor de  $-4.31 \text{ dB}$ . Dada a experiência com o circuito para 433MHz, testou-se a substituição do condensador C1 de  $500 \text{ fF}$  para  $1 \text{ pF}$  e também a alteração de L2 para o valor de  $6 \text{ nH}$ , com estas alterações foi conseguida uma adaptação a 848MHz de  $-13 \text{ dB}$ . Posteriormente testou-se a alteração de L2 para  $5.6 \text{ nH}$ , conseguindo uma adaptação de  $-13.91 \text{ dB}$  à frequência de trabalho, como pode ser observado na figura 25.

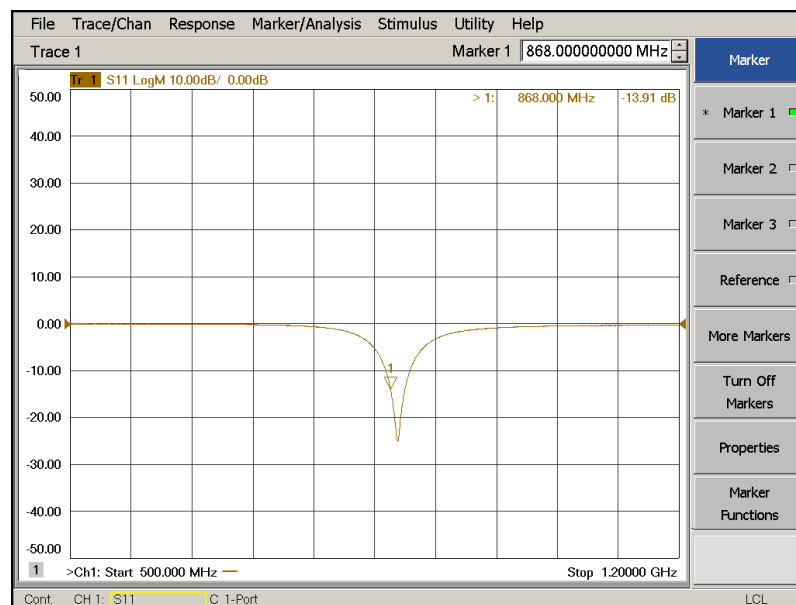


Figura 25 - Adaptação WUR frequência 868MHz

Na figura 26 pode observar-se que a frequência à qual o circuito está mais bem adaptado é 875.7MHz. No Capítulo V serão apresentadas as relações entre as potências recebidas e a tensão para a frequência de trabalho e para a frequência onde existe a melhor adaptação.

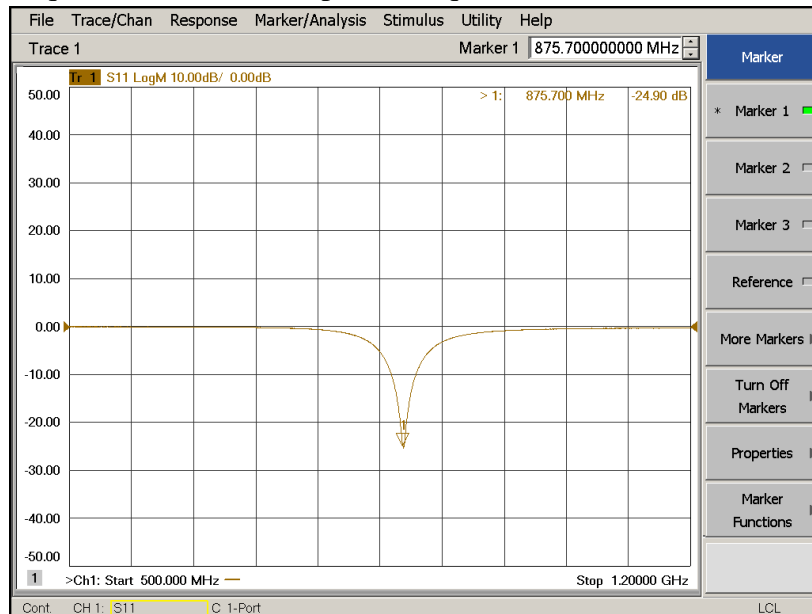


Figura 26 - Melhor Adaptação WUR

### 3.2.2.1.3 - Comparador

Pretende-se verificar se a tensão proveniente do RF to DC *converter* é igual ou superior a uma tensão de referência predefinida, para tal, utilizou-se um comparador *low power* o LTC1540.

Inicialmente o comparador foi montado numa topologia de *opamp* em malha aberta com a introdução de um divisor resistivo entre a alimentação e a massa que definia assim uma tensão de referência na entrada negativa do *opamp*. Esta configuração apresentava o funcionamento esperado, colocava na saída o valor de  $V_{DD}$  quando a tensão na entrada positiva era igual ou superior à referência mas tinha o problema de apresentar um consumo energético demasiado elevado para o pretendido. Sendo a principal preocupação neste módulo o baixo consumo energético, ao efetuar a medição da corrente consumida com um amperímetro, verificou-se que esta topologia apresentava um consumo energético de 0.63 mA. Devido ao elevado valor de corrente consumida, passou-se então para a utilização da referência interna existente no comparador, como se pode observar na figura 27.

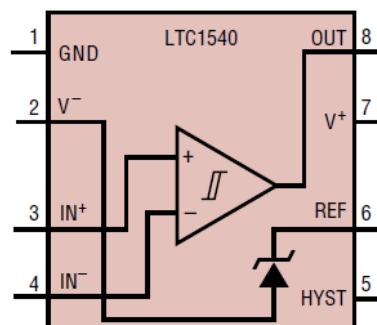


Figura 27 – LTC1540, retirado de [27]

Montou-se então o topologia presente na

comparador na figura 28.

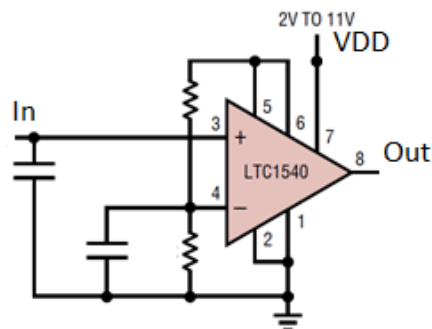


Figura 28 – LTC1540 Montagem baixo consumo, retirado de [27]

Sabendo que o valor da  $V_{REF}$  é 1.182V utilizaram-se as resistências  $R_1 = 1M\Omega$  e  $R_2 = 120K\Omega$  de forma a criar uma tensão de referência de 100mV.

### Divisor de tensão

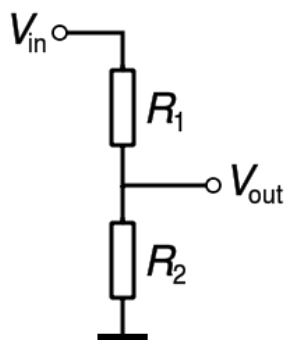


Figura 29 - Divisor de Tensão

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

$$V_{out} = 100mV$$

Arbitrando  $R_2 = 120K\Omega$

$$R1 = 1M\Omega$$

Do ponto de vista energético esta montagem apresenta consumos energéticos muito melhores que a inicial. Em *StandBy* o circuito apresenta o consumo de  $1.26\mu A$ , já em funcionamento, consome apenas  $4.21\mu A$ .

### 3.2.2.1.4 - Microprocessador ATMEGA 328

O micro processador de baixo consumo em sleep mode escolhido para integrar o módulo de WUR foi o ATMEGA 328, para os primeiros testes foi utilizado o encapsulamento 28PDIP, com o qual se fez uma montagem em placa branca. Antes de se poder programar o micro processador, fez-se a montagem da configuração presente na figura 30. Com as ligações feitas e os componentes montados, com recurso ao Arduino Uno carregou-se o *bootloader* no micro controlador. O tutorial para a gravação do *bootloader* no micro é disponibilizada pela Arduino e pode ser consultado nesta seguinte página: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard>.

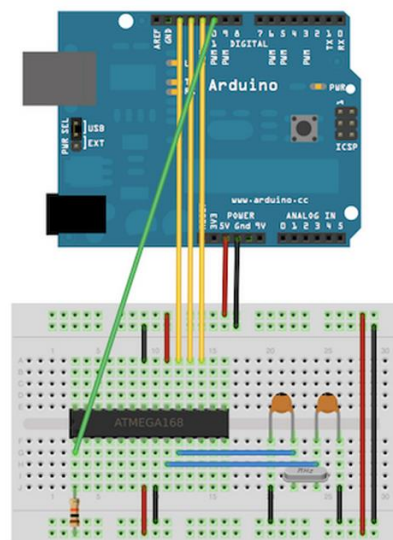


Figura 30 - Montagem para gravação do Bootloader no ATMEGA 328, retirado de [28]

Sabe-se que o módulo Arduino é uma plataforma baseada no ATMEGA 328, que permite a sua utilização de forma mais simples mas quando se pretende trabalhar com consumos de energia muito baixos e ainda com dispositivos de tamanho reduzido, tem de se utilizar apenas do micro processador.

Após a gravação do *bootloader* no micro processador, passa a ser possível fazer a sua programação recorrendo à plataforma Arduino. A montagem para o carregamento do programa pode ver-se na figura 31.

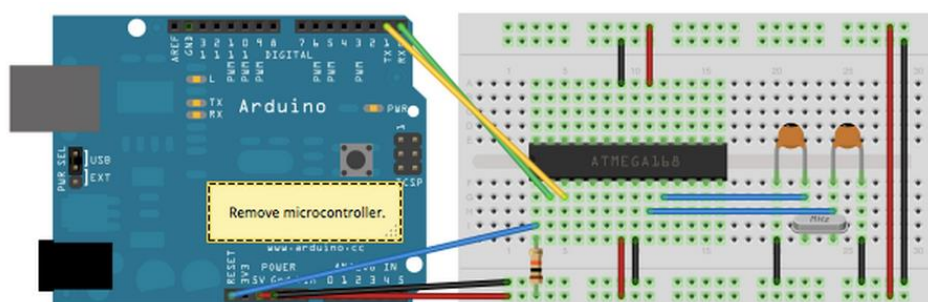


Figura 31 - Montagem para programação do ATMEGA 328, retirado de [28]



## Firmware

Para se conseguir que o micro processador estivesse em modo *sleep* com um consumo energético muito baixo, este teve de ser programado para que apenas acordasse com uma interrupção externa e tivesse os seus recursos em *sleep mode*.

Deste modo começou-se por definir um pino 2 com entrada e colocar o seu valor a zero, utilizando a biblioteca do Arduino, *sleep.h*, foi usado o modo *SLEEP\_MODE\_PWR\_DOWN*. Este modo de *sleep* apenas acorda quando ocorre uma transição de nível nos pinos 2 ou 3. Para potenciar a poupança de energia foi ainda desativada a ADC e o CPU colocado em *sleep*.

O programa configura todos os módulos e quando deteta uma transição do nível lógico 0 para 1 no pino 2, passa do estado de *sleep* para *wake*, definindo o pino 4 como saída ativa a 1 durante um tempo predefinido. Quanto chega ao final do tempo o pino 4 passa ao estado inativo e o micro processador volta ao modo *sleep*. A transição de 0 para 1 é a passagem da tensão num pino de 0V para um valor acima de metade do valor da tensão de alimentação.

Entre outros programas testados, este foi o que apresentou o consumo energético em *sleep mode* mais baixo, com o valor de 0.02uA.

### 3.2.2.1.5 - Opamp Malha Aberta

Para fazer a comparação entre o comparador LTC1540 e um Opamp em malha aberta a funcionar como comparador. Fez-se uma montagem de um Opamp de baixo consumo, o TLV2401, em malha aberta, com um divisor resistivo entre a massa e a alimentação, de forma a criar uma tensão de referência na sua entrada negativa.

Quando esta configuração tinha na sua entrada positiva um valor igual ou superior à tensão de referência colocava na saída a tensão de alimentação.

A corrente medida em *standby* para esta configuração foi 72uA, valor superior ao consumo apresentado pelo comparador LTC1540 na mesma configuração. Deste modo esta topologia não mostrou ser viável no contexto deste projeto de dissertação.

A PCB e o *layout* para impressão podem ser vistos no Anexo B – Placas Desenvolvidas, seção Opamp em malha Aberta – Comparador.

### 3.2.2.2 - Rádio Texas CC1110 - End Device

O rádio presente no módulo do animal é também programado com protocolo SimpliciTI, do qual as funções estão descritas no capítulo III - 3.2.1.3 - Rádio Texas CC1110.

Este rádio funciona apenas quando o módulo recebe um sinal de *wake up* e o micro processador passa do estado de *sleep* a ativo durante o tempo necessário a que o CC1110 estabeleça a ligação com o módulo do *drone* e envie o seu ID.

Este dispositivo começa por inicializar o BSP depois cria um endereço aleatório, ativa as interrupções e tenta fazer *join* com o AP. Enquanto não tem uma ligação feita com o AP o seu led está a piscar, passando para fixo quando é estabelecida uma ligação.

Sendo a ligação com o AP bem-sucedida o rádio passa ao estado de *sleep* entrando o programa em *loop* a aguardar um pedido do lado do AP. Se ocorrer um pedido, o rádio é acordado e ativado o RX. É então possível fazer o envio da mensagem com o ID. No final do envio da mensagem o rádio volta ao estado *sleep* e após a receção de uma *callback* enviada pelo AP o RX, também passa ao estado IDLE.

As transições entre estes diferentes estados são visíveis nas formas de onda da corrente que o módulo do animal consome na transmissão de informação, estas podem ser vistas no Capítulo IV.

### Teste Power Modes da Texas

Como foi referido no capítulo II, o rádio CC1110 apresenta vários *power modes* que segundo o *datasheet* têm consumos energéticos bastante baixos. O *power mode* que em *sleep* teria o menor consumo de energia, o PM3 com um consumo de  $0.3\mu\text{A}$ , já o PM2 que permite o despertar do modo de *sleep* com um timer ou uma interrupção externa teria um consumo de  $0.5\mu\text{A}$  [15].

Foram feitos vários testes aos *power modes* e no melhor dos casos, para o PM3 conseguiu-se um consumo energético de  $0.134\text{mA}$ . A programação do rádio foi feita em linguagem C sem a possibilidade de utilização do protocolo SimpliciTI.

Dado o elevado consumo energético, de forma a procurar alguma informação foi feita alguma pesquisa *online*, principalmente nos fóruns da marca, pode-se constatar que existem informações que os rádios mesmo em *sleep mode* apresentam consumos da ordem dos miliampère e que a informação presente no *datasheet* é para situações muito específicas em que por exemplo todo o I/O teria de estar desligado.

Deste modo e como para conseguirmos desenvolver um módulo com elevada longevidade, teríamos de ter um micro processador que em *sleep mode* no máximo apresentasse consumos da ordem dos microampère tivemos de optar por outra estratégia. Fez-se uma nova pesquisa para perceber a viabilidade da introdução de um micro processador de muito baixo consumo que teria como função acordar o rádio CC1110 durante um período de tempo pré determinado. Com esta pesquisa pode-se concluir que um simples Atmega 328 em modo *sleep*, com um pino de *interrupt* ativo para detetar uma interrupção

externa poderia ter consumos energéticos abaixo dos microampère, tal como se veio a comprovar com alguns testes.

Pode ver-se então na figura 32 o diagrama de blocos para a abordagem que foi tomada de forma a desenvolver um módulo de muito baixo consumo.

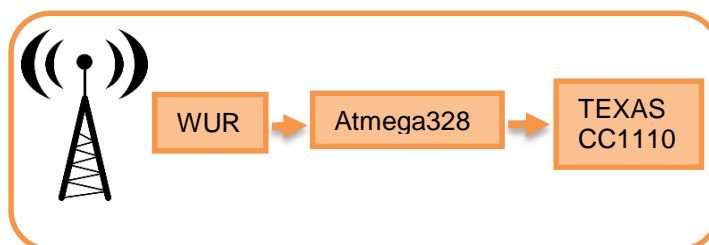


Figura 32 - Diagrama blocos módulo Animal

### 3.2.2.3 - Antena

Dadas as condições especiais em que o sistema vai estar aplicado, teria de ser também desenvolvida uma antena que se integrasse com a caixa onde a placa iria estar inserida ou mesmo com o corno do animal.

Foram analisadas as características elétricas do corno do animal de forma a estudar a possibilidade de no futuro vir a aplicar uma antena no corno da vaca.

Esta antena terá de ter em consideração as condições de tamanho, pois pretende-se que o módulo tenha o menor tamanho possível. Pretende-se também que haja um bom compromisso com o ganho desta pois é muito importante que haja uma receção do sinal de forma mais eficiente possível. Esta antena terá ainda de ser direcional para cima, zona onde o *drone* irá passar e enviar o sinal de *Wake Up*.

Para tal existem duas opções a analisar a viabilidade, uma antena na forma de *patch* que se pensa introduzir um bom compromisso com o ganho ou uma antena na forma de monopólo de um quarto de comprimento de onda enrolado de forma à antena ter o menor tamanho possível.

O módulo do animal irá ter duas antenas, como já foi explicado anteriormente, uma desenvolvida para o *Wake Up Radio* e uma para a comunicação entre os rádios. Embora possam haver algumas interferências entre as antenas achou-se que esta solução seria a melhor pois a introdução de um *power divider* iria fazer com que se perdessem 3dB em cada uma das recções de sinal, o que no caso do WUR, iria penalizar fortemente o funcionamento do sistema, sendo necessário emitir mais potência para que se chegasse à sensibilidade do circuito.

Como referido anteriormente existia a necessidade de desenvolver uma antena para a receção do sinal WUR. Pretendia-se que esta antena fosse aplicada na caixa onde o circuito iria estar dentro e que tivesse o maior ganho possível.

Nesse sentido foi simulada em CST uma antena na forma de *patch* a qual se pretendia que tivesse um ganho tao elevado quanto possível e dimensões reduzidas dado que a placa final do sistema tem  $4\text{ cm} \times 5.5\text{cm}$ .

Considerando o substrato PLA com uma altura (h) de 1.5mm, com o valor de dielétrico de 2.2. Com o CST simulou-se uma antena na forma de *patch* para a frequência de 868MHz. Obteve-se uma antena com um ganho a rondar os 5dBi. Dadas estas dimensões tornou-se inviável o seu desenvolvimento dado que não seria possível fazer a integração com o animal que esta dissertação também tinha como objetivo. Anteriormente já tinha sido feito uma alteração à frequência de trabalho de 433MHz para 868MHz para que esta antena fosse mais pequena, ainda assim o tamanho obtido em simulação mostrou-se inviável pois o seu tamanho é muito superior ao tamanho do sistema a aplicar no animal.

Devido às limitações de espaço a solução passaria pela utilização de um monopólo com tamanho igual a um quarto do comprimento de onda. Sabe-se que as antenas comerciais deste tipo disponíveis no laboratório introduzem um ganho de 1.8dBi.

#### 3.2.2.4 - Análise do Corno da Vaca

Para fazer a integração do sistema com o animal foram ainda estudadas as caraterísticas do corno do animal de forma a analisar a viabilidade de produzir uma antena para colocar em torno do corno.

A ACRM forneceu ao IT três cornos de vacas que foram abatidas no matadouro, estes foram cortados e retiram-se dois pedaços com tamanhos diferentes como se pode ver na figura 33.



Figura 33 - Pedacos de corno para analise de permitividade elétrica relativa

A estes dois pedaços de corno, com comprimentos de 45mm e 20mm, colou-se na parte inferior fita autocolante com cobre na superfície de forma a criar um plano de massa e na parte superior uma linha com largura de 2.5mm.

Assim medindo os parâmetros S do corno no VNA disponível no laboratório e posteriormente aplicando o método das duas linhas, calculou-se o valor do  $\epsilon_r$  do corno do animal.

Para a frequência de 868MHz, obtiveram-se os parâmetros S que estão presentes na tabela 7 para o comprimento de 20mm e na tabela 8 para comprimento de 45mm.

	Magnitude (dB)	Fase (°)
S11	-12.224531	13.74089
S21	-0.6498661	-81.813736
S12	-0.64199781	-81.93161
S22	-12.179765	2.0773489

Tabela 7 - Parâmetros S Peça Corno 20mm

	Magnitude (dB)	Fase (°)
S11	-9.0119457	-37.03376
S21	-1.9824885	-134.07813
S12	-1.9454688	-134.14316
S22	-8.4399586	-32.888691

Tabela 8 - Parâmetros S - Peça de Corno 45mm

Para ambas os comprimentos de corno, foi considerada uma altura do dielétrico,  $h = 4mm$ , largura da pista,  $w = 2.5mm$  e a impedância  $Z_0 = 50\ ohm$ . Os parâmetros S foram convertidos em parâmetros ABCD e com o método das duas linhas obtiveram-se os valores de  $\epsilon_{r_{eff}} = 29.5923$ ,  $\epsilon_r = 47.7769$  e  $\tan D = 0.3698$ .

Nas figuras 34 e 35 podem ver-se os parâmetros S11 em dB para os pedaços de corno de 45mm e 20mm respetivamente. Idealmente este parâmetro, para haver uma boa adaptação, deveria ter um valor abaixo dos 10dB o que não se verifica para o caso do pedaço com 45mm.

O que poderá justificar esse facto é o tipo de superfície onde as pistas foram coladas e as suas irregularidades. O corno do animal na sua parte exterior apresenta bastantes relevos o que não possibilita uma boa colagem do material autocolante, por outro lado como o corno tem forma de um cone sendo assim difícil retirar um pedaço que tenha depois de trabalhado assuma a forma de uma placa retangular. Os pedaços medidos não tinham as formas ideais para que a medição tivesse o contacto ideal com o plano de massa e com as linhas na parte superior do material.

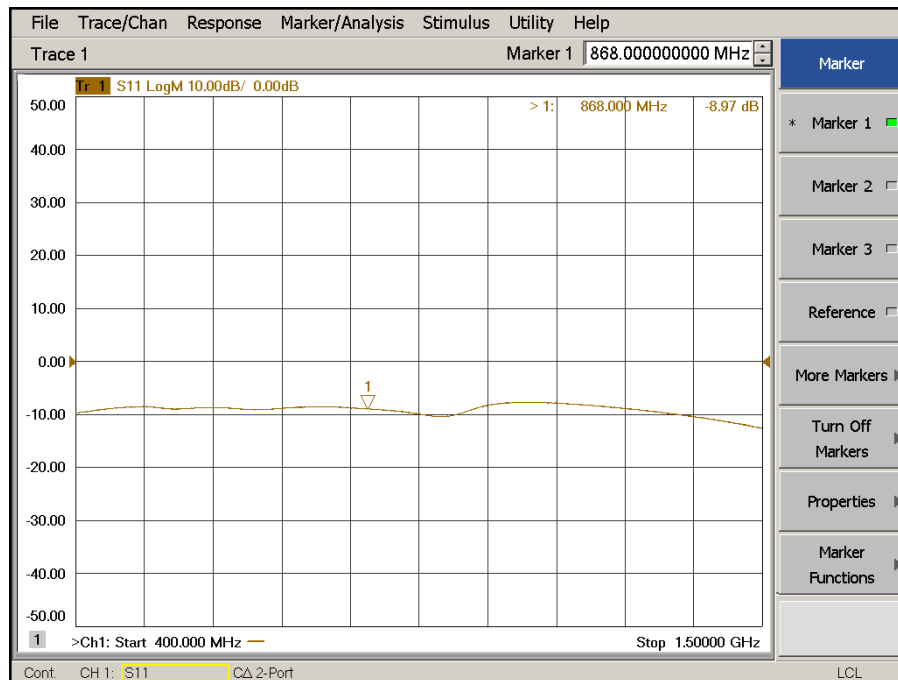


Figura 34 - Adaptação Corno 45mm

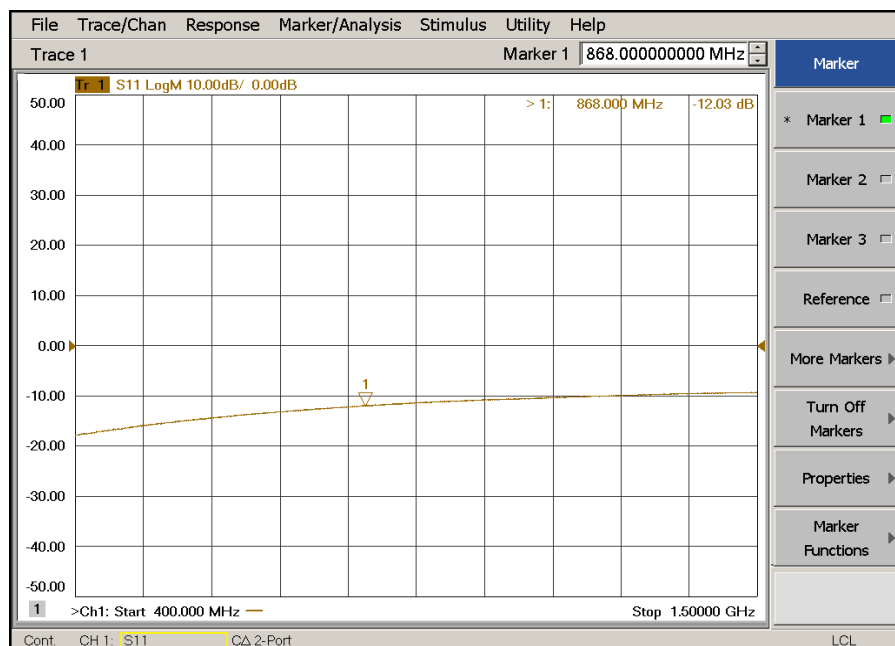


Figura 35 - Adaptação Corno 20mm

### 3.2.2.5 – Caixa – Integração com o Animal

Para fazer a integração do sistema com o animal, foi desenvolvida uma caixa que se pudesse encaixar no corno onde o *hardware* coubesse dentro. Esta caixa foi desenvolvida com o *software open source* OpenSCAD, no qual se programam as formas e é bastante fácil criar objetos 3D.

Uma outra opção, passa pelo desenvolvimento de uma caixa a colocar na zona menos suscetível a ser vista e a levar pancas que é a parte de trás dos cornos na cabeça ou mesmo a utilizar presa numa coleira que o animal leva ao pescoço.

O material de impressão 3D é o PLA que tem características elétricas já exploradas pelo investigador do IT Ricardo Gonçalves. Para PLA com uma densidade de 100%, utilizando o método das duas linhas, a permitividade obtida foi  $\epsilon_r = 2.2$ .

Após ter sido medido o corno e ajustadas as dimensões dos diferentes componentes no *software*, obteve-se uma caixa com a forma presente na figura 36.

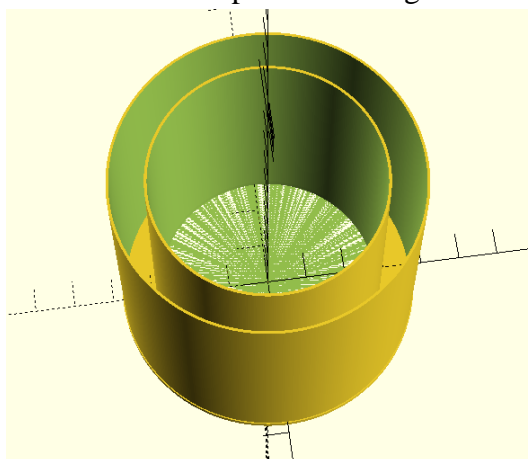


Figura 36 - Caixa Corno OPEN SCAD

Esta forma foi exportada para o formato .stl para que pudesse ser carregada no software da impressora 3D.

Depois de se ter carregado o ficheiro com a caixa 3D no *software* BEESOFT, procedeu-se à calibração da impressora e por fim à impressão da forma. Devido a problemas técnicos com a cabeça da impressora, a impressão da caixa não foi bem-sucedida, não tendo sido assim possível produzir a caixa do sistema.

### 3.2.2.7 – Outras formas receção e desmodulação do sinal de WUR

#### Filtro Ativo – Configuração inversora

Numa abordagem inicial, de forma a introduzir robustez ao sistema a desenvolver, como sinal para ativar o *Wake Up Radio* pensou-se na multiplexagem de uma onda sinusoidal com frequência de 433MHz com uma onda quadrada com frequência de 1KHz.

No módulo de receção, após o estágio adaptação da antena e deteção da onda sinusoidal, foi necessário criar um filtro passa banda para uma onda quadrada a 1KHz, para que o sistema

só acorde aquando da receção de uma onda deste tipo. Esta configuração pode ser observada na figura 37.

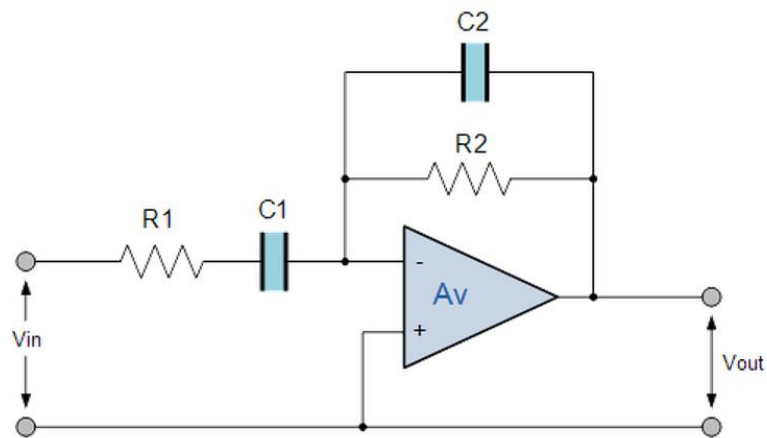


Figura 37 – Filtro Ativo configuração Inversora, retirado de [29]

Na figura 38 apresentam-se as equações de ganho e frequências de corte superior e inferior para esta configuração.

$$\text{Voltage Gain} = -\frac{R_2}{R_1}, \quad f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}, \quad f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

Figura 38 – Equações de ganho e frequências de corte – Configuração Inversora, retirado de [29]

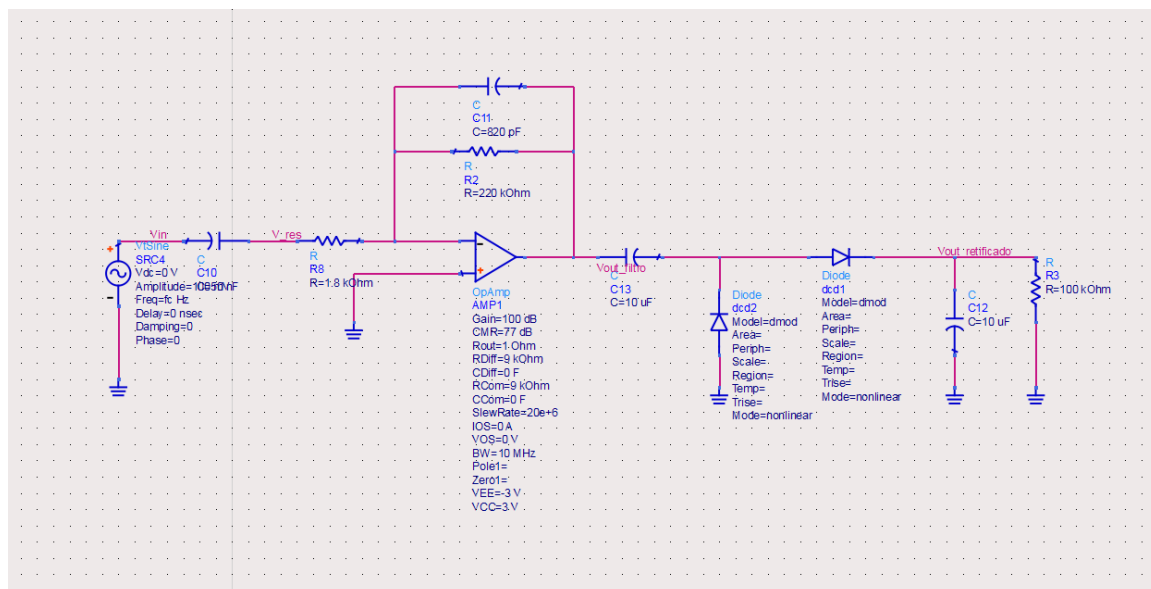


Figura 39 – Esquemático Filtro Ativo configuração inversora - Simulador ADS

Começou-se por testar um filtro ativo na configuração inversora, cujo o esquemático desenvolvido em ADS pode ser observado na figura 39. Este filtro em simulação apresentava bom funcionamento.



Esta configuração tem à entrada um filtro passa alto, depois um opamp em configuração inversora responsável pela amplificação do sinal e no final um filtro passa baixo. Nos testes práticos, dado que o opamp era *single supply*, alimentado com tensão positiva, montado em configuração inversora apenas iria estar a amplificar a parte negativa do sinal à entrada deste filtro.

Após alguns testes e alterações ao circuito concluiu-se que a introdução do condensador à entrada para o filtro passa alto introduzia DC ao sinal de entrada fazendo com este ficasse acima de zero, deste modo como o amplificador iria amplificar a arcada negativa, não havia sinal para amplificar, logo não se conseguia ter bons resultados à saída.

Dadas as condições verificadas com a montagem desta configuração, optou-se por passar para uma configuração não inversora de forma a obter melhores resultados.

### Filtro Ativo – Configuração não inversora

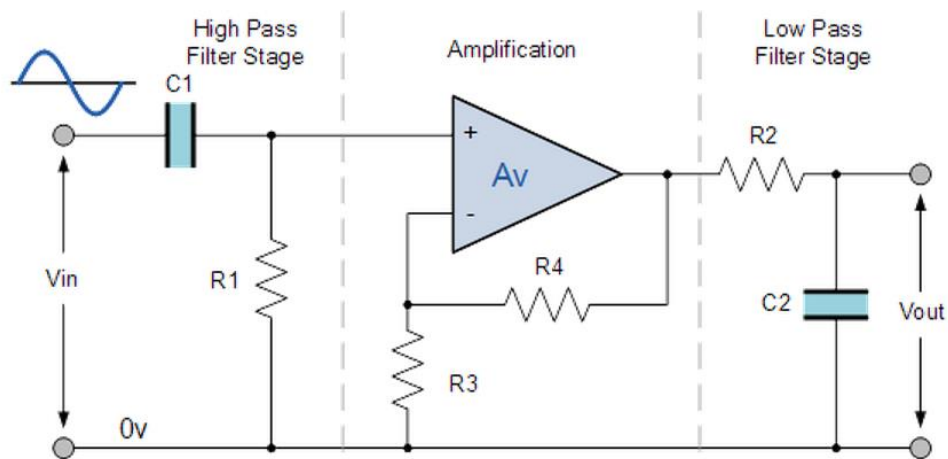


Figura 40 – Filtro Ativo Configuração não Inversora, retirado de [29]

Dado os maus resultados obtidos para a configuração inversora, passou-se ao desenvolvimento de um módulo na configuração não inversora, que apresenta a topologia presente na figura 40.

Este filtro na prática apresentava resultados semelhantes aos obtidos em simulação. Ainda assim voltou a verificar-se que os filtros na prática levavam a uma grande perda de ganho no sistema.

Outro problema desta configuração passava pelo consumo energético. O amplificador apresentava um consumo energético demasiado elevado para o objetivo que se tinha para o sistema, o que iria fazer com que a autonomia do sistema ficasse bastante prejudicada. Juntando estes factos a uma visita e análise aos campos onde os animais pastam habitualmente, onde foi possível concluir que não existem outros sinais a operar nesta gama de frequências, levou a que se optasse pela implementação apenas de um RF to DC converter sem qualquer tipo de modulação associada.

## 4 - Resultados

---

Neste capítulo apresentam-se os resultados experimentais relativos à validação e avaliação laboratorial deste trabalho. Dar-se-á especial foco ao módulo do animal e aos seus consumos energéticos dado que este era o principal objetivo desta dissertação. Em termos globais será tida em atenção a comunicação entre os módulos bem como a eficiência do sistema de *Wake Up Radio* e o seu funcionamento em termos energéticos. Na figura 41 pode observar-se o sistema final produzido.

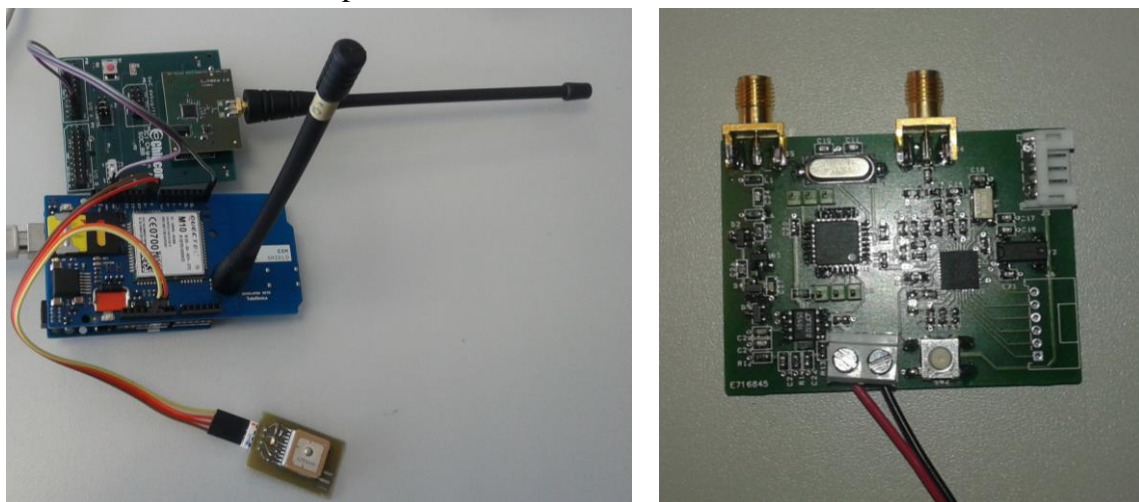


Figura 41 – Sistemas Finais, Esquerda – Módulo do Drone, Direita – Módulo do Animal

### 4.1-Consumo Energético

#### 4.1.1 – Módulo do Animal

Apresentam-se nesta secção os resultados de corrente consumida para o módulo do animal. Nesta dissertação o objetivo principal era que este módulo em *sleep mode* apresentasse um consumo energético muito baixo de forma a maximizar a autonomia do sistema.

A corrente consumida por este módulo teve de ser medida por dois dispositivos diferentes. Em *sleep mode* utilizou-se um multímetro com resolução elevada, de forma a conseguir-se medir o valor da corrente consumida. Já para a visualização das formas de onda da corrente consumida com o sistema em funcionamento utilizou-se a ponta de prova para medições de corrente existente no laboratório de medidas de RF do IT. A informação sobre estes dispositivos pode ser encontrada em <http://labrf.av.it.pt/>.

Para se chegar a um módulo final de baixo consumo composto por vários componentes diferentes começou pela utilização e testes a cada um individualmente.

Sabendo que o circuito RF to DC converter apenas tem componentes passivos, ou seja, não consomem energia vai-se então passar à apresentação dos consumos energéticos dos componentes ativos.

#### 4.1.1.1 - Comparador

O comparador LTC1540 é um dispositivo *nano power* com uma referência interna, como tal apresenta consumos energéticos bastante baixos tal como se pretendia neste projeto. Este módulo montado na configuração presente na figura 28 do capítulo III. Seção 3.2.2.1.3 - Comparador. Quando está em *standby* apresenta um consumo de 1.26  $\mu\text{A}$ , por outro lado quando tem na sua entrada positiva um valor de tensão superior à sua referência e coloca na saída o valor da tensão de alimentação, o seu consumo energético passa para 4.21  $\mu\text{A}$ .

#### 4.1.1.2 - Atmega 328

O micro processador Atmega 328 da Atmel em funcionamento normal apresenta um consumo energético da ordem das dezenas de miliamperes. Com o código de *sleep* descrito no capítulo IV o seu consumo em *sleep mode* é 0.02  $\mu\text{A}$ . Quando este recebe uma transição de zero para um no seu pino de *interrupt* e acorda o seu consumo durante o tempo de 10 segundos passa a ser 15 mA.

#### 4.1.1.3 - Montagem com todos os componentes

O módulo final foi conseguido pela junção de um RF to DC converter, um comparador LTC1540, um Atmega 328 e o rádio Texas CC1110. Sendo o RF to DC converter constituído por elementos passivos, este não apresenta consumo energético. Assim no consumo total em *sleep mode* só terão influencia o LTC1540 e o Atmega 328, sendo a maior fatia de energia consumida pelo comparador.

Para esta montagem em *sleep mode*, fazendo uma medição da corrente com o multímetro, obteve-se o consumo de corrente de 1.32  $\mu\text{A}$ . Serão de seguida apresentadas as formas de onda da corrente quando o módulo se encontra em funcionamento.

#### 4.1.1.4 - Formas onda corrente

Quando o circuito passa do estado de *sleep* para *wake* as formas de onda da corrente já podem ser analisadas com recurso à ponta de prova de corrente disponível no laboratório de medidas do IT.

Apresentam-se então abaixo as figuras onde podem ser observadas as formas de onda de corrente, quando o circuito era ativado pelo WUR e passava do modo *sleep* para um estado ativo.

Na figura 42 pode observar-se o gráfico da corrente quando o módulo do animal passa do estado de *sleep* para um estado em que tenta fazer *link* mas não existe um AP disponível para ser estabelecida a ligação. Esta é a condição na qual o módulo tem o maior consumo de energia, 27.57mA.

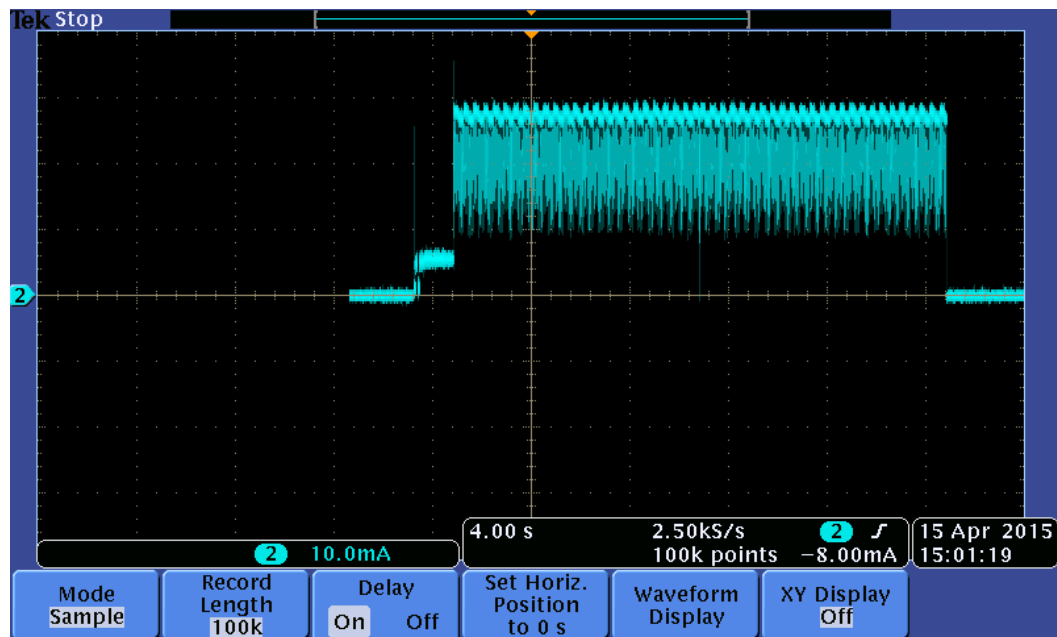


Figura 42 - Radio sem Link para o módulo do Animal

Por outro lado na figura 43 pode ser observada a forma de onda da corrente quando o CC1110 é acordado e faz o *link* com AP. O tempo para o rádio estar ativo é 10 segundos e foi definido no programa do Arduino, é o tempo em que o pino 4 fica ativo, ou seja, com a tensão de alimentação. Nesta figura podem observar-se os picos de corrente consumida, quando o rádio está a fazer o *link*, com consumo de 27.57mA, valor que após o estabelecimento do ligação baixa para 13.76mA. Esta diminuição do consumo deve-se ao modo de funcionamento descrito na secção do código do CC1110 ED, com a transição do rádio para *sleep* enquanto aguarda por um chamada pela parte do AP. A corrente volta a aumentar quando há um novo envio do ID do ED para o AP.

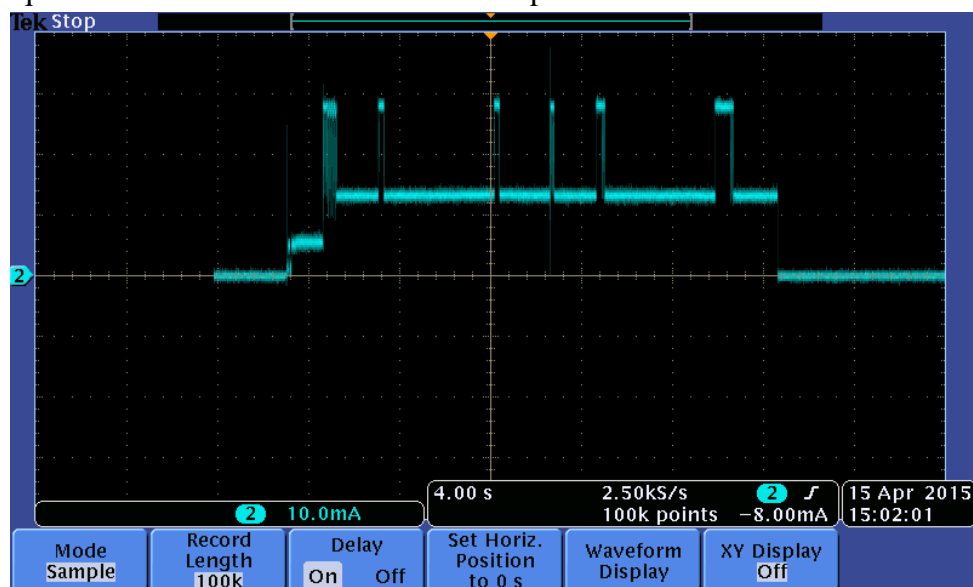


Figura 43 - Rádio ligado e a enviar o seu ID

### 4.1.2 - Energy Budget

Com base nos consumos energéticos já referidos anteriormente vai-se então apresentar o *energy budget* para o sistema. Chegando ao final com a duração da bateria do módulo do animal. Para tal vai-se considerar como corrente consumida em *sleep*,  $I = 1.32\mu A$ . Já a corrente consumida com o rádio em funcionamento é obtida pelas contribuições de cada valor de corrente em função do tempo que está ativa em relação ao tempo total.

Vai-se considerar o uso de duas baterias AA em paralelo com uma capacidade total de 2400mAh. Assume-se ainda que o módulo está em *sleep* acordando apenas quatro vezes em cada dia.

$$I_{sleep} = 1.32\mu A$$

$$I_{on} = 0.008 \times 5mA + 0.24 \times 27.5mA + 0.68 \times 10mA$$

$$I_{on} = 13.8 mA$$

$$C_{bat} = 2400mAh$$

$$T_{on} = 10segundos$$

$$T_{standby} = 6 * 60 * 60 - 10 segundos = 21590 segundos$$

$$TCycle = T_{on} + T_{standby}$$

$$TCycle = 10 + 21590 = 21600 segundos$$

$$Don = \frac{T_{on}}{TCycle}$$

$$Don = \frac{10}{21600} = 4.6296e - 004$$

$$T = \frac{C_{bat}}{(I_{on} \times Don + I_{sleep}(1 - Don))}$$

$$T = 30816 horas = 12840 dias = 35.17 Anos$$

Considerando que as baterias têm um bom funcionamento em 80% da sua carga.

$$T = T \times 0.8 = 35.17 \times 0.8 \approx 28 Anos$$

Nestas condições as baterias do sistema teriam uma duração de 28 anos.

## 4.2 – Testes Wake Up Radio

### 4.2.1 – WUR 433MHz

Inicialmente para testar a sensibilidade do módulo de *Wake Up Radio* desenvolvido, ligou-se a placa com um cabo a um gerador de sinais do laboratório, com o qual se gerou uma onda sinusoidal para diferentes valores de potência para verificar a relação da tensão à saída do WUR com a potência introduzida à entrada.

Para a primeira versão do WUR este teste foi feito à frequência de trabalho, 433MHz e também à frequência de 390MHz, frequência à qual o circuito se encontrava bem adaptado.

Na figura 44 pode ver-se a tensão à saída do RF to DC converter para as frequências de 433MHz e 390MHz com diferentes níveis de potencia. No eixo dos vertical podem ver-se os valores de tensão em volt e no eixo horizontal os valores da potência em dBm.

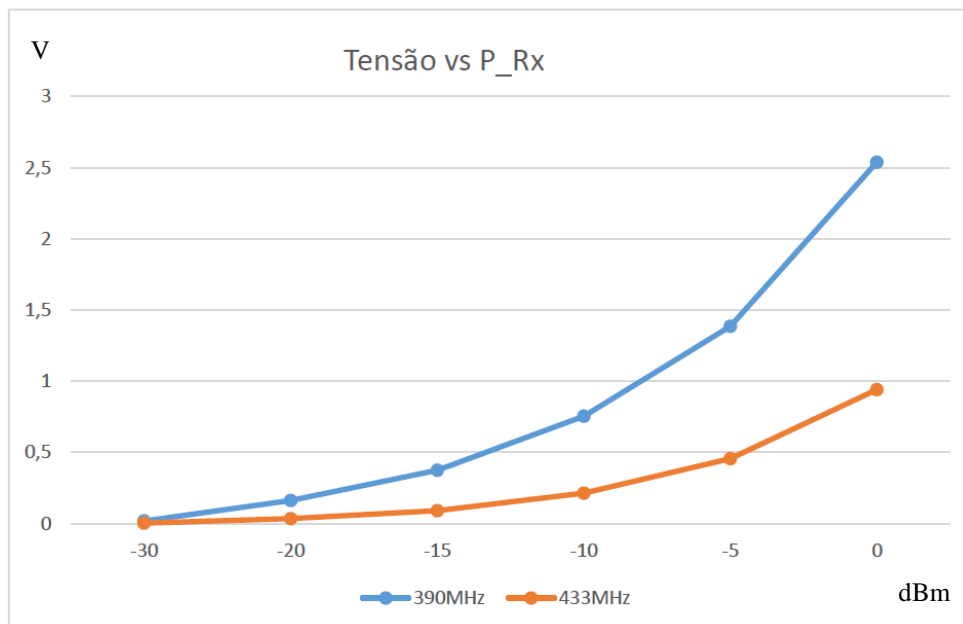


Figura 44 - Relação Potencia vs tensão WUR 433MHz e 390MHz

### 4.2.2 – WUR 868MHz

Após a alteração da frequência de trabalho do sistema e consequente adaptação do circuito de RF to DC converter a essa mesma frequência, voltou-se a ligar o circuito de WUR ao gerador com um cabo. Gerando uma onda à frequência de 868MHz para vários valores de potência obtiveram-se os seguintes gráficos da tensão medida à saída do circuito em função da potência colocada na sua entrada. Mais uma vez foram feitas medições para a frequência de funcionamento do circuito mas também para a frequência à qual o circuito estaria mais bem adaptado, 875MHz.

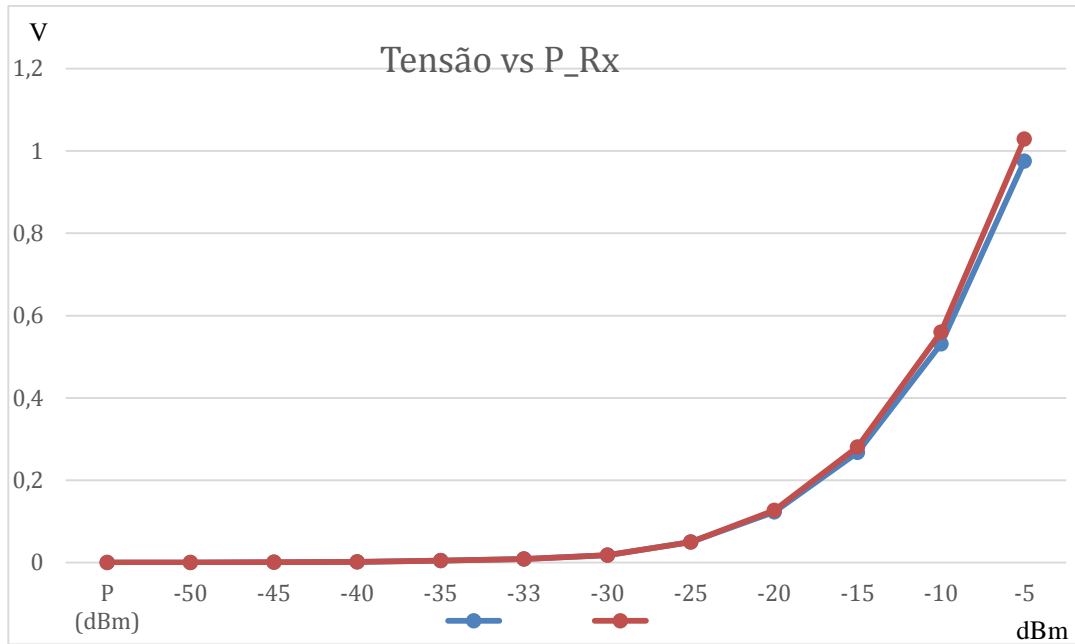


Figura 45 - Relação Potencia vs tensão WUR 868 MHz e 875 MHz

Comparativamente aos gráficos da figura 44 onde se observa uma grande diferença entre os valores da tensão para as duas frequências em questão nas gamas de potência superiores, neste caso essa diferença é muito pouco significativa, como se observa na figura 45. De forma a evidenciar esse fato pode ver-se na tabela 9 os valores de tensão em função da potência introduzida no circuito.

	868MHz	875MHz
P (dBm)	V (v)	V (v)
-50	0	0
-45	0,001	0,001
-40	0,002	0,002
-35	0,005	0,005
-33	0,009	0,009
-30	0,018	0,018
-25	0,05	0,05
-20	0,123	0,127
-15	0,268	0,281
-10	0,531	0,56
-5	0,975	1,029
0	1,626	1,699

Tabela 9 - Potencia vs tensão WUR 868 MHz e 875 MHz

Considerando aceitável o valor para tensão de referência do comparador 5mV a sensibilidade do *Wake Up Radio* seria -35dBm.

### 4.3 - Link Budget

Como foi visto anteriormente, considerando a tensão de referência do comparador 5mV, a sensibilidade do *Wake Up Radio* é -35dBm. Tendo com referência este valor serão então apresentados os cálculos do *link budget* do circuito.

Sensibilidade = -35dBm

$$Lfs (dB) = 10 \log_{10} \left( \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \right)$$

$$f = 868 MHz$$

$$c = 3 \times 10^8 m/s$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = 0.3456 m$$

Na tabela 10 pode observar-se a relação entre o valor teórico das perdas em espaço livre em dB e a distância entre os módulos.

Distancia (m)	Perdas (dB)
5	-45.19
10	-51.21
25	-59.17
50	-65.19
100	-71.21
250	-79.17
500	-85.19

Tabela 10 - Perdas em dB em função das distâncias

Considerando como valores para os ganhos introduzidos pelas antenas os valores conhecidos para as antenas existentes em laboratório.

- Ganho Antena Animal (monopólo comercial) = 1.8dBi.
- Ganho Antena Drone (patch comercial) = 5dBi.

Como os equipamentos para testes em laboratório emitem no máximo 20dBm vai-se considerar esse valor para a potência emitida.

$$S = G_{AntenaAnimal} + G_{AntenaDrone} - Lfs + Ptx$$

$$Lfs = G_{AntenaAnimal} + G_{AntenaDrone} - S + Ptx$$

$$Lfs = 5 + 1.8 - (-35) + 20$$

$$Lfs = -61.8 dB$$

Nas condições descritas o sistema teria um alcance de 33.83 metros. Dado que os valores de perdas considerados foram os teóricos e como no campo iriam existir algumas obstruções não quantificadas o alcance seria inferior ao valor obtido.



## 4.4 – Placa Final

De forma a integrar todo o sistema foi desenvolvida uma PCB o mais compacta possível, desse modo, obteve-se uma placa com o circuito de WUR e o rádio Texas CC1110 com as dimensões de  $4\text{cm} \times 5.5\text{cm}$ . A placa pode observar-se na figura 46.

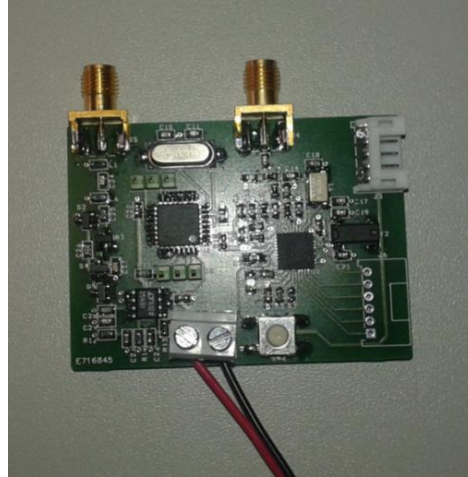


Figura 46 – Imagem da Placa Final

### 4.4.1 – Adaptação WUR

Tal como no módulo de testes para se conseguir uma boa adaptação da placa à frequência de trabalho teve de se ajustar o valor de L2. Neste caso como se observa na figura 47 conseguiu-se uma adaptação perfeita à frequência de 868MHz com  $S_{11} = -19.04\text{ dB}$ . Para tal os componentes utilizados foram,  $L_1 = 300\text{nH}$ ,  $C_1 = 1\text{pF}$  e  $L_2 = 6\text{nH}$ .

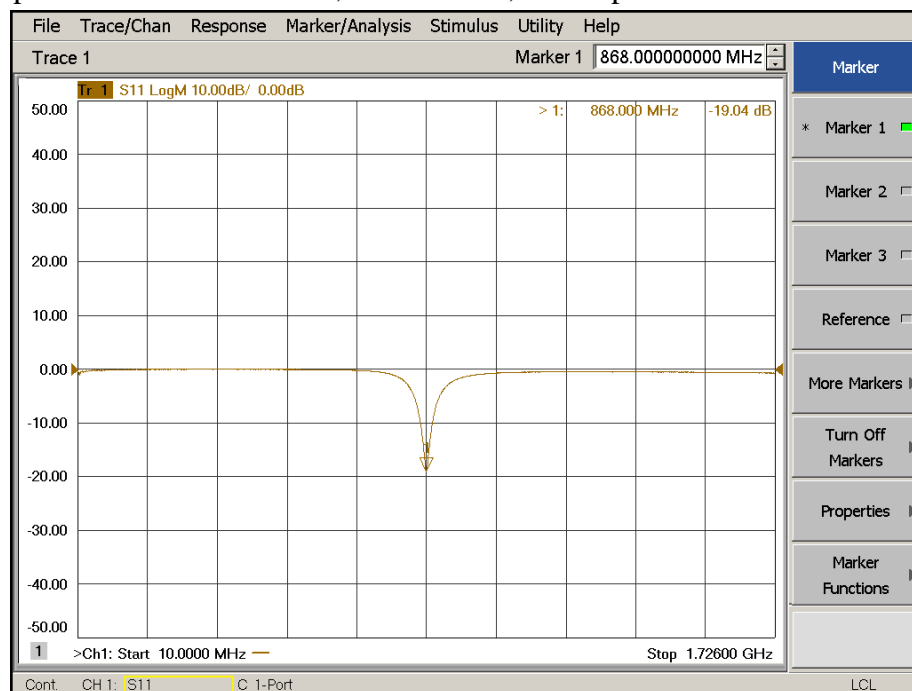


Figura 47 - Adaptação da Placa Final

### 4.4.2 - Teste WUR

Ligou-se também a placa final diretamente ao gerador de sinais para se testar o comportamento do *Wake Up Radio* com a variação da potência introduzida no circuito. Pode observar-se a curva obtida na figura 48.

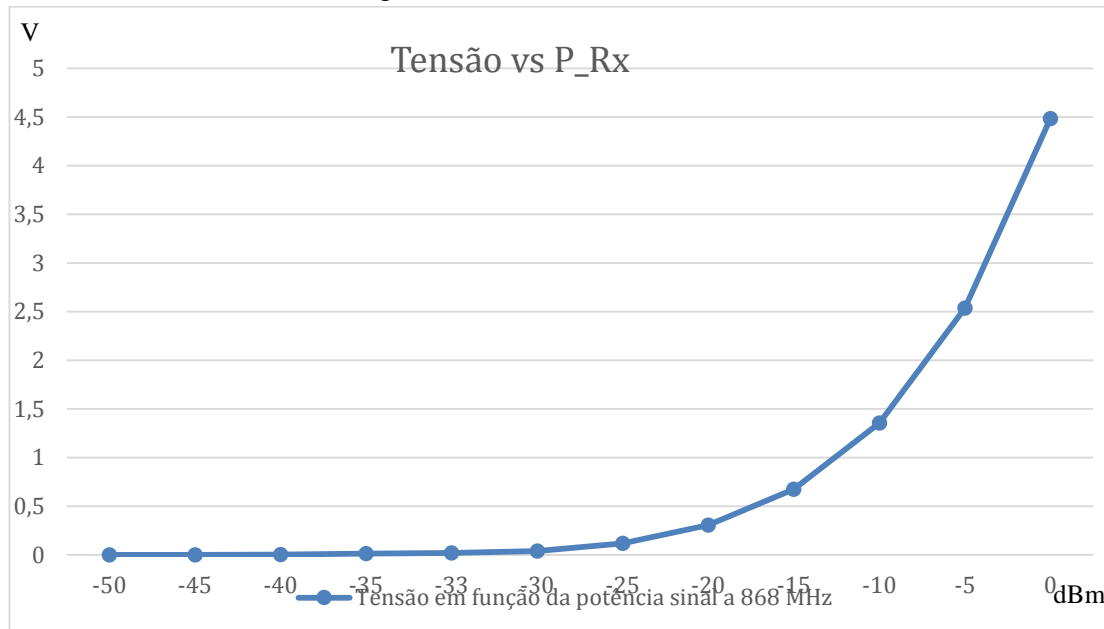


Figura 48 - Relação Potencia vs tensão WUR 868 MHz Placa Final

Podem observar-se na tabela 11 com maior precisão os valores de tensão em função da potência introduzida no sistema.

P (dBm)	V(v)
-50	0,000478
-45	0,001428
-40	0,004341
-35	0,0135
-33	0,02117
-30	0,04141
-25	0,1204
-20	0,3048
-15	0,6738
-10	1,3553
-5	2,5378
0	4,484

Tabela 11 - Potencia vs tensão WUR Final

De forma a melhorar a robustez do sistema e imunidade a ruídos externos manteve-se neste circuito a sensibilidade no valor de -35dBm. Foram feitos testes com a referência a 5mV, ou seja, aproximadamente -40dBm mas verificou-se que o sistema acordava algumas vezes devido a interferências, ou seja, sem que fosse emitido um sinal de *wake up*.

### 4.4.3 - Corrente Consumida

No que toca à corrente consumida tal como se esperava, este módulo final apresenta as mesmas características que o módulo de testes. Como se observa na figura 49, quando o rádio está a tentar fazer *link* mas não existe um *access point* disponível o consumo é constante e aproximadamente igual a 28mA.

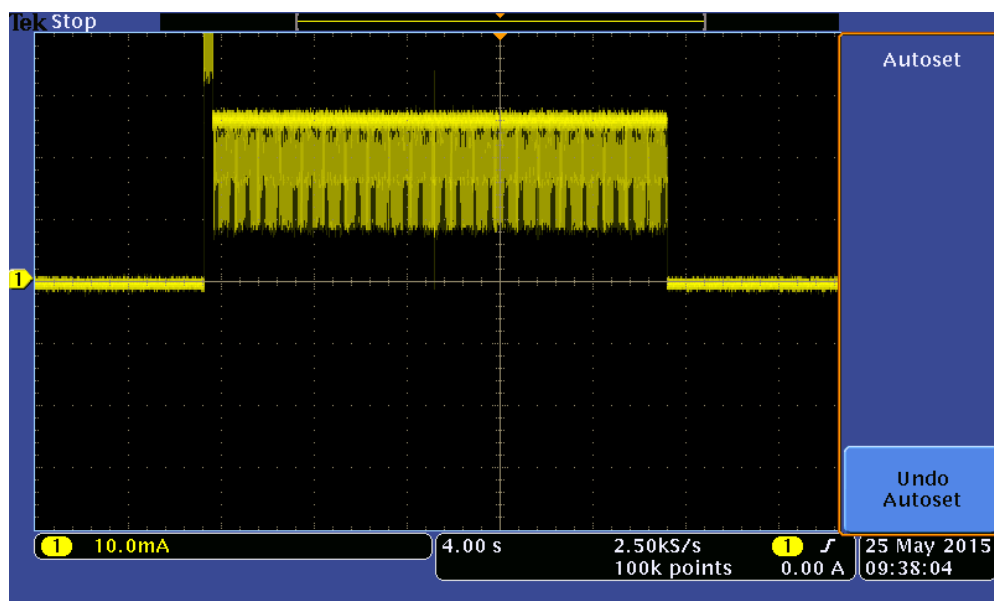


Figura 49 - Corrente consumida sem AP

Por outro lado, quando o rádio tem um AP para estabelecer a ligação e trocar mensagens o consumo é maioritariamente igual a 10mA com os picos de quando faz *join* ou envia uma mensagem com consumo de 28mA, tal como se observa na figura 50.

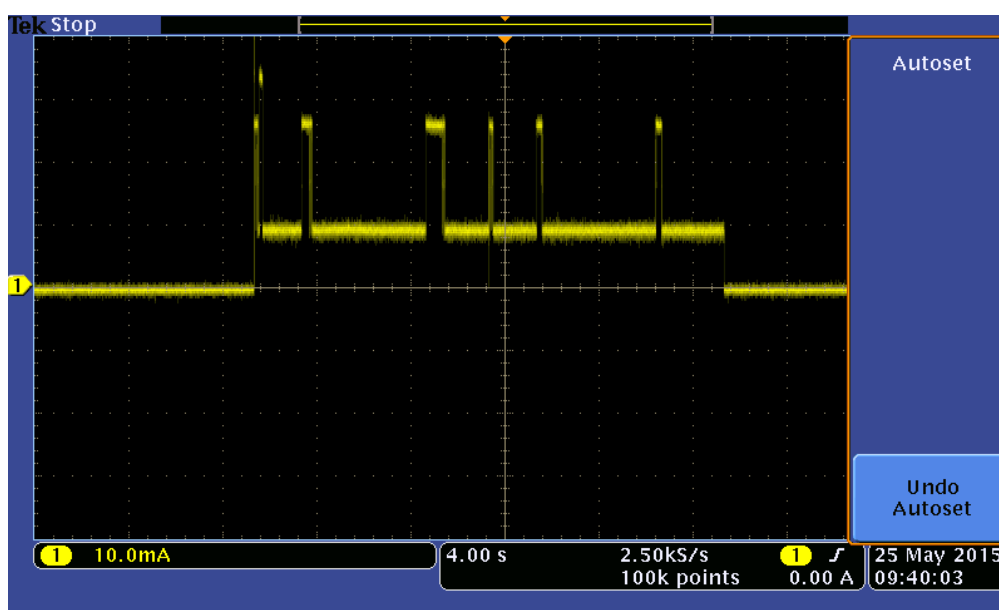


Figura 50 - Corrente Sistema em Funcionamento com Link

#### 4.4.4 – Energy Bugdet

Para o módulo final a corrente consumida em modo *sleep* foi  $1.4\mu A$ . Assim, considerando as mesmas condições que em 4.1.2 podem fazer-se os seguintes cálculos para a autonomia do sistema.

$$I_{sleep} = 1.40\mu A$$

$$I_{on} = 0.28 \times 28mA + 0.72 \times 10mA$$

$$I_{on} = 15mA$$

$$C_{bat} = 2400mAh$$

$$T_{on} = 10segundos$$

$$T_{standby} = 6 * 60 * 60 - 10 segundos = 21590 segundos$$

$$TCycle = T_{on} + T_{standby}$$

$$TCycle = 10 + 21590 = 21600 segundos$$

$$Don = \frac{T_{on}}{TCycle}$$

$$Don = \frac{10}{21600} = 4.6296e - 004$$

$$T = \frac{C_{bat}}{(I_{on} \times Don + I_{sleep}(1 - Don))}$$

$$T = 28700 horas = 11958 dias = 32.76 Anos$$

Considerando que as baterias têm um bom funcionamento em 80% da sua carga.

$$T = T \times 0.8 = 32.76 \times 0.8 \approx 26 Anos$$

Nestas condições as baterias do sistema teriam uma duração de 26 anos.

Para este módulo a autonomia obtida foi ligeiramente inferior à obtida para o módulo de testes mas ainda assim em nada compromete os objetivos desta dissertação. Nas condições analisadas, esta autonomia supera o tempo de vida de uma vaca, que no caso de uma fêmea reprodutora pode chegar aos 20 anos.

## 4.4.5 - Testes ao Sistema

Em laboratório, para que fossem mantidas as mesmas condições, fez-se um teste com o sistema fixo a 10 metros do gerador de sinais. À saída do gerador estava ligada uma antena comercial com a forma de *patch* com ganho de 5dBi, e no sistema estava ligado um monopólio comercial com ganho de 1.8dBi.

Fixando a distância entre os dois módulos variou-se a potência de forma a ser possível observar a variação da tensão na saída do WUR e se o sistema acordava ou não. Podem observar-se os dados na tabela 12.

P_VSG (dBm)	G_Antena VSG (dBi)	G_Antena Animal(dBi)	Wake Up (S/N)	Distancia (m)	Lfs Teorico (dB)	P_Rx (dBm)	Tensão (V)
-20	5	1,8	N	10	-51,21	-64,41	0,00062
-15	5	1,8	N	10	-51,21	-59,41	0,00081
-10	5	1,8	N	10	-51,21	-54,41	0,00121
-5	5	1,8	N	10	-51,21	-49,41	0,00023
0	5	1,8	N	10	-51,21	-44,41	0,00233
5	5	1,8	S	10	-51,21	-39,41	0,0027
10	5	1,8	S	10	-51,21	-34,41	0,0065
15	5	1,8	S	10	-51,21	-29,41	0,02
20	5	1,8	S	10	-51,21	-24,41	0,058

Tabela 12 - Tensão WUR

Na figura 51 podem observar-se a vermelho os valores de tensão á saída do RF to DC converter do módulo de WUR quando se liga um cabo direto à entrada do sistema. Já a azul podem ver-se os resultados obtidos quando se faz a transmissão pelo ar nas condições descritas acima.

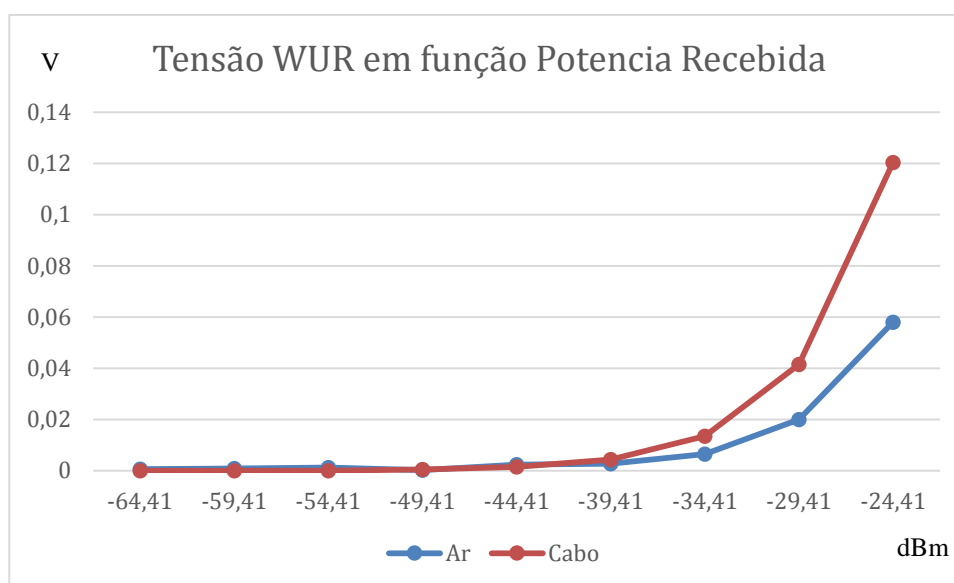


Figura 51 - Comparação entre tensão em função da potência no WUR por cabo e transmissão no ar

Tal como se esperava via área os resultados foram piores, quer pelas perdas não quantificadas quer pelo espaço onde foram realizados os testes, que não seria o ideal. Ainda assim, é possível verificar que para uma distância de 10 metros emitindo uma potência de 10dBm com as antenas utilizadas o nosso sistema entra em funcionamento.



## 5 - Conclusão e Trabalho Futuro

---

Este capítulo termina esta dissertação e encontra-se dividido em duas partes: Conclusão e Trabalho Futuro. Na primeira, é feito um resumo geral do trabalho, dos resultados alcançados e são identificadas algumas limitações do sistema desenvolvido. Na secção de Trabalho Futuro são apresentados alguns aspetos acerca de possíveis melhorias para o sistema desenvolvido e algumas linhas de trabalho em aberto associadas.

### 5.1-Conclusão

O principal objetivo desta dissertação foi o desenvolvimento de um sistema de localização com um consumo energético bastante baixo e que fosse possível integrar com o animal.

Começou-se por fazer abordagem de alguns conceitos essenciais para contextualizar o trabalho em questão. Foi introduzido o RFID, abordado a sua história, fazendo uma breve descrição dos componentes que compõe um sistema RFID, falando das suas aplicações e da sua aplicabilidade e ainda deixando presentes as potências máximas legais a emitir para cada gama de frequência.

Foram também expostas tecnologias e funcionamento do GPS, plataforma Arduino, GSM e do rádio Texas CC1110. Associado ao último introduziu-se o protocolo de programação SimpliciTi. Não poderia também deixar de se contextualizar o conceito de *Wake Up Radio*, fundamental nos resultados desta dissertação. Para fazer o paralelismo com as necessidades e com a realidade onde o sistema se irá aplicar foram ainda abordados o atual sistema de identificação de animais bovinos por RFID e também foi feita referência à raça Marinhola e aos seus locais de exploração.

Posteriormente passou-se à descrição da arquitetura do sistema, onde se dividiu o sistema em módulo do animal e módulo do drone. Seguiu-se a explicação de todos os detalhes da implementação. Esta explicação foi sempre feita com uma ligação entre o *software* e hardware desenvolvidos.

Relativamente aos resultados, estes comprovam que os objetivos foram alcançados com sucesso, pois conseguiu-se desenvolver um sistema que permite fazer a localização de animais em ambiente agrícola com uma elevada autonomia e tamanho reduzido. Deve-se referir que o rádio CC1110 é um módulo de baixo consumo mas a sua utilização com os *sleep modes* revelou um consumo superior ao desejado o que comprometeria a autonomia do sistema. Deste modo com a utilização de um micro processador de baixo consumo no que diz respeito ao consumo energético conseguiu-se um sistema final com consumo em *standby* bastante baixo. Comparativamente aos módulos comerciais estudados este sistema apresenta uma autonomia muitíssimo superior tal como era pretendido. Dada a dimensão reduzida do sistema e ainda o trabalho de campo e a interação com os criadores dos animais conseguiu-se chegar uma forma de integrar o sistema com o animal. Estando o sistema dentro de uma



caixa presa ao corno, este não está suscetível a apanhar poeiras ou água que o possam danificar e dada a resistência da caixa, esta será também resistente às possíveis pancadas que o animal venha a dar com a cabeça.

O sistema desenvolvido apresenta uma sensibilidade de -35dBm o que, utilizando antenas com valores de ganho iguais aos das antenas consideradas nos cálculos efetuados, permite um alcance de aproximadamente trinta metros. Este alcance para uma localização feita com um *drone* a sobrevoar um campo é um valor bastante razoável. No que toca à autonomia, considerando que o sistema acorda quatro vezes a cada dia, o sistema poderá permanecer vinte e seis anos sem que haja necessidade de fazer troca às baterias. Este período de tempo é superior ao tempo de vida dos animais a que o sistema seria aplicado.

Em suma, este trabalho de dissertação representa uma contribuição para o desenvolvimento de novos sistemas para a identificação e localização dos animais em ambiente agrícola.

## 5.2-Trabalho Futuro

Como se pode observar no *link budget* do *Wake Up Radio*, a sensibilidade do módulo limita a distância a que o drone teria de estar a emitir o sinal para que o módulo do animal acorde. Desta forma poderá ser abordada no futuro uma forma de fazer o *Wake Up* ao sistema para que se consiga baixar a sensibilidade.

Este módulo de *Wake Up Radio* foi desenvolvido para ambientes rurais onde se espera que não haja outros sinais à mesma frequência no ar, o sistema a ser produzido em maior escala e para outros ambientes teria de ter a introdução de maior robustez no detetor de sinal de *Wake Up*. Esta nova valência teria de ser desenvolvida sem que a autonomia do sistema fosse comprometida.

Todo o módulo do *drone* que aqui foi feito utilizando um Arduino com um *Shiel* GSM e um sensor GPS ligados a um radio Texas CC1110 poderá vir a ser integrado num único circuito, ficando assim um sistema mais compacto e preferencialmente com um menor custo. Para este surge ainda o desafio de adicionar um gerador do sinal de *Wake Up* tentando sempre ter um bom compromisso entre o consumo energético e o custo do mesmo.

Numa ótica ambiciosa e futurista poderão ser feitos estudos no sentido de se retirar as baterias ao módulo animal. Podem ser abordadas formas de aquisição de energia por *energy harvesting*, associado ao movimento do animal ou à sua temperatura, podendo ser esta energia armazenada num *supercap*. Esta abordagem poderá ser viável se o condensador tiver a capacidade de fornecer a energia necessária quando o módulo é ativado mas também tem de haver a garantia que o sistema o irá carregar para que na próxima utilização o sistema possa funcionar corretamente.

# Anexos

## A – Kit Desenvolvimento Texas

### Placa SmartRF04EB

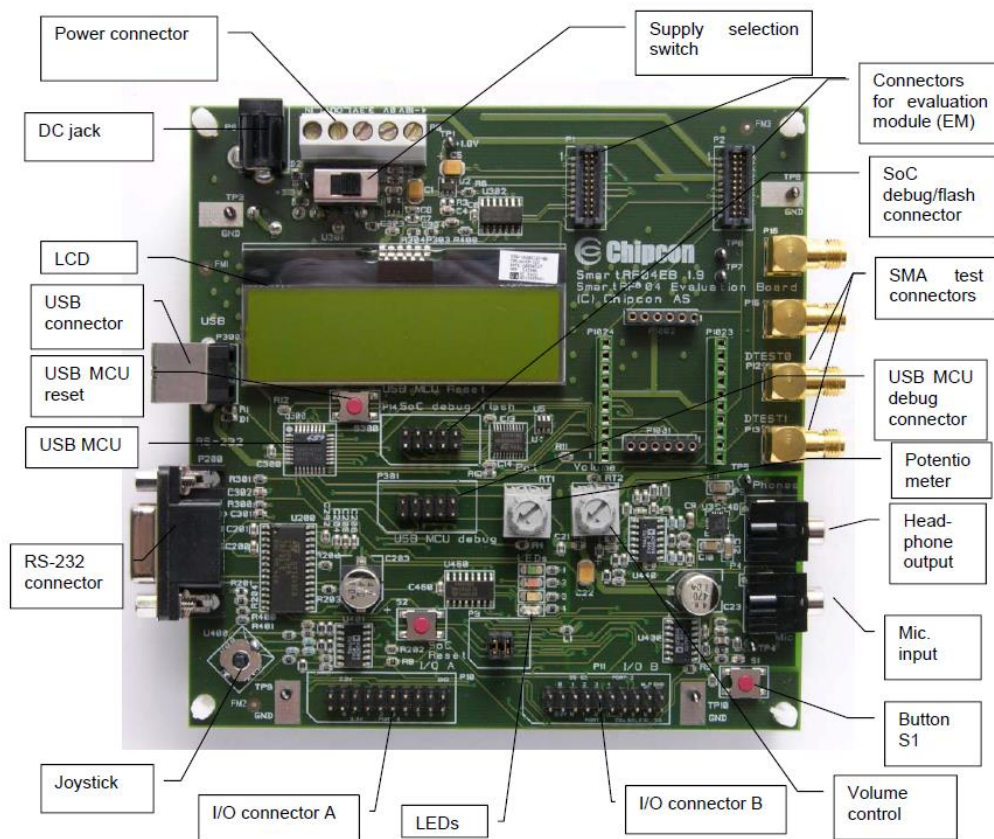


Figura 52 - Placa SmartRF04EB

## CC1110 EM

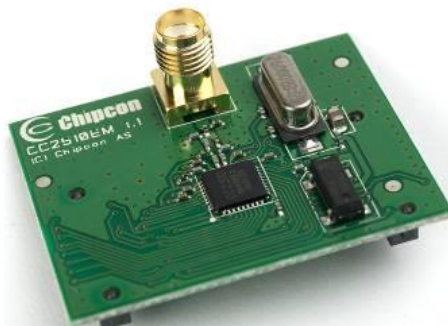


Figura 53 - Rádio Texas CC1110 EM

## SOC-BB



Figura 54 - Texas SOC-BB

## Tabela Pinos I/O CC1110

Periphery / Function	P0								P1								P2				
	7 <sup>14</sup>	6 <sup>14</sup>	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	4	3	2	1	0
ADC	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0													
USART0 Alt. 1			C	SS	M0	MI															
SPI Alt. 2											MO	MI	C	SS							
USART0 Alt. 1			RT	CT	TX	RX															
UART Alt. 2											TX	RX	RT	CT							
USART1 Alt. 1			MI	M0	C	SS															
SPI Alt. 2									MI	M0	C	SS									
USART1 Alt. 1			RX	TX	RT	CT															
UART Alt. 2									RX	TX	RT	CT									
TIMER1 Alt. 1				2	1	0															
Alt. 2														0	1	2					
TIMER3 Alt. 1												1	0								
Alt. 2									1	0											
TIMER4 Alt. 1															1	0					
Alt. 2																	1				0
I <sup>2</sup> S Alt. 1							CK	WS	RX	TX											
Alt. 2																	CK	WS	RX	TX	
32.768 kHz XOSC																	Q2	Q1			
DEBUG																			DC	DD	

Figura 55 - Tabela de Pinos I/O CC1110, retirada de [15]

## B - Placas Desenvolvidas

### GPS

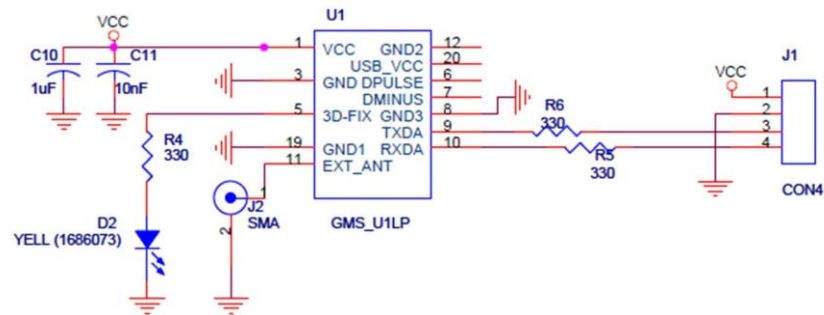


Figura 56 - Esquemático Placa GPS

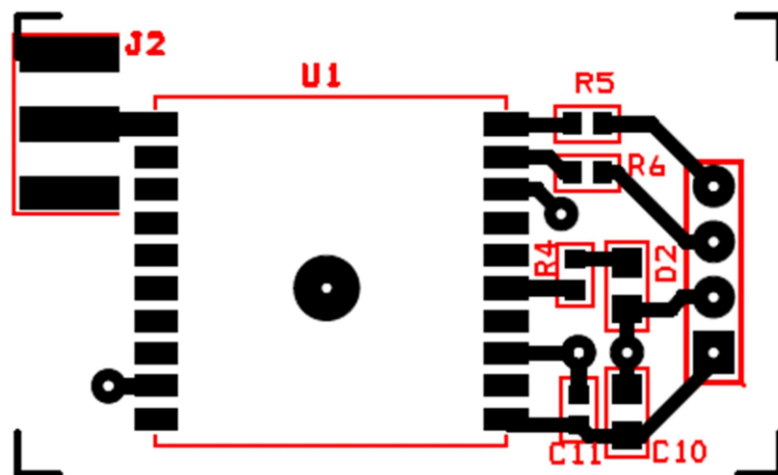


Figura 57 - Layout para Impressão de PCB - GPS



Figura 58 - Foto Placa GPS

## Filtro Ativo – Configuração não inversora

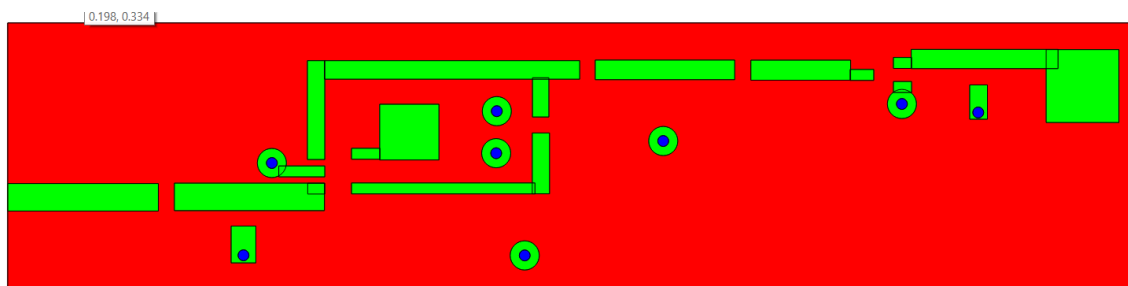


Figura 59 - Layout para PCB - Filtro Ativo Configuração não inversora

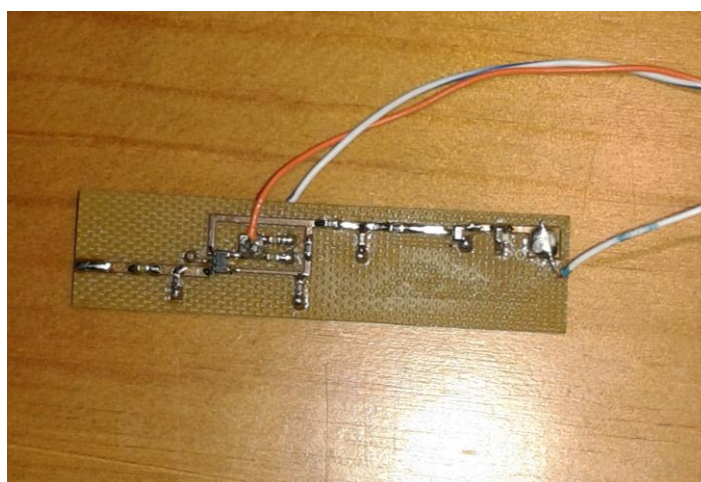


Figura 60 - Foto placa - Filtro ativo configuração não inversora

## Opamp Malha Aberta – Comparador

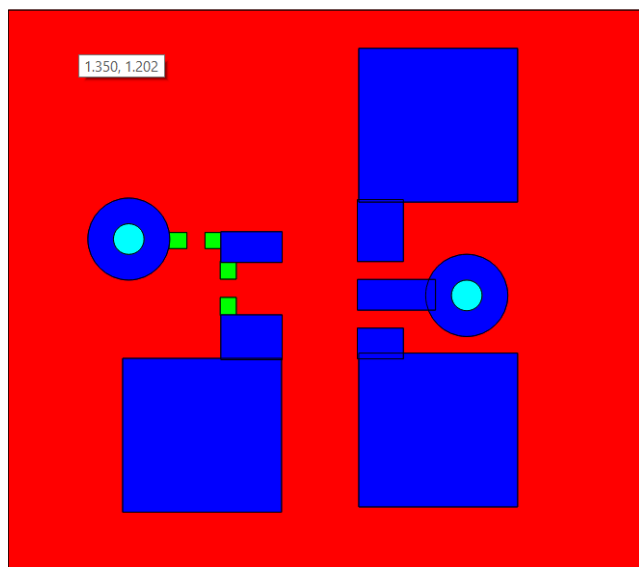


Figura 61 - Layout PCB - Opamp Malha aberta - comparador

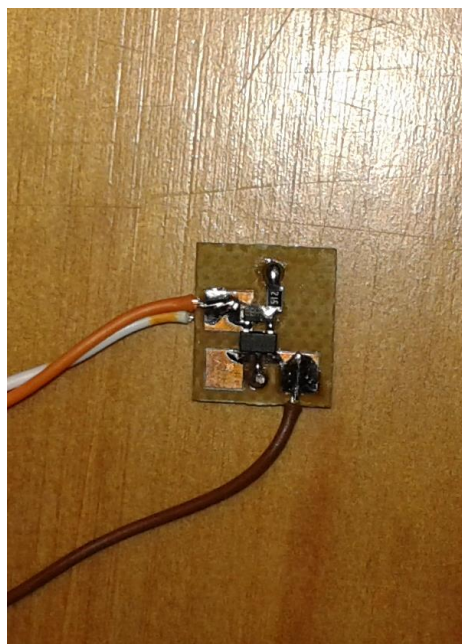


Figura 62 - Foto - Opamp Malha Aberta - comparador



## Comparador LTC1540

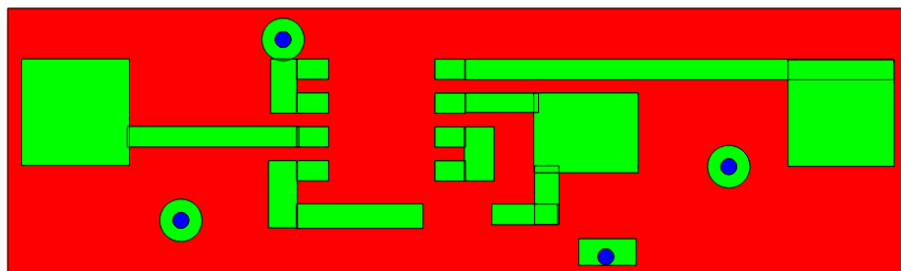


Figura 63 - Layout PCB - Comparador LTC1540

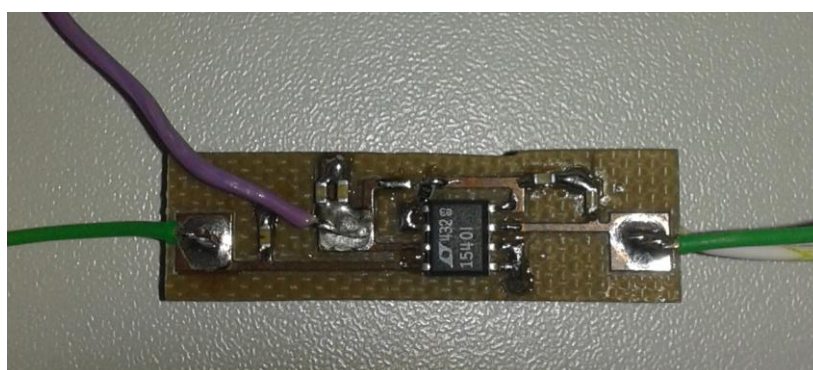


Figura 64 - Foto Placa comparador LTC1540



## RF to DC converter

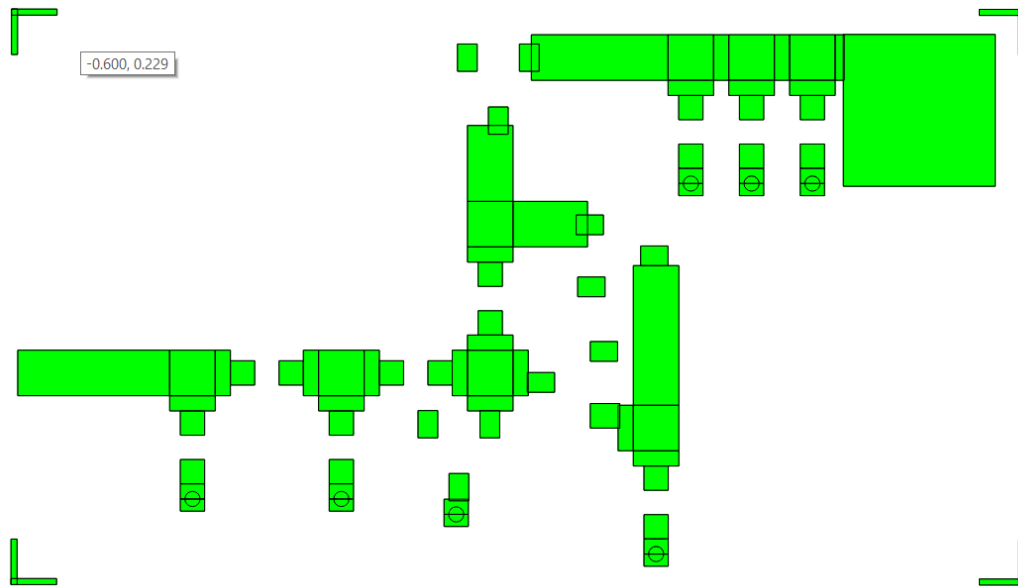


Figura 65 - Layout PCB - RF to DC converter

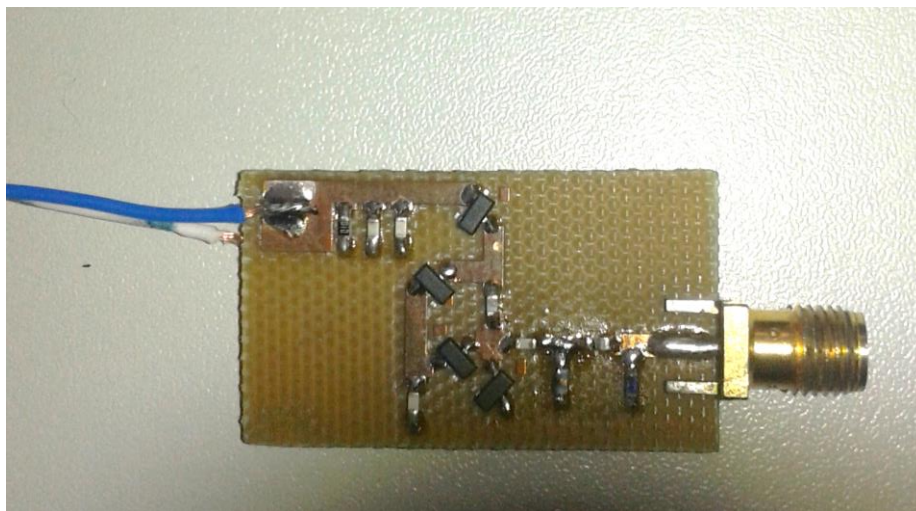
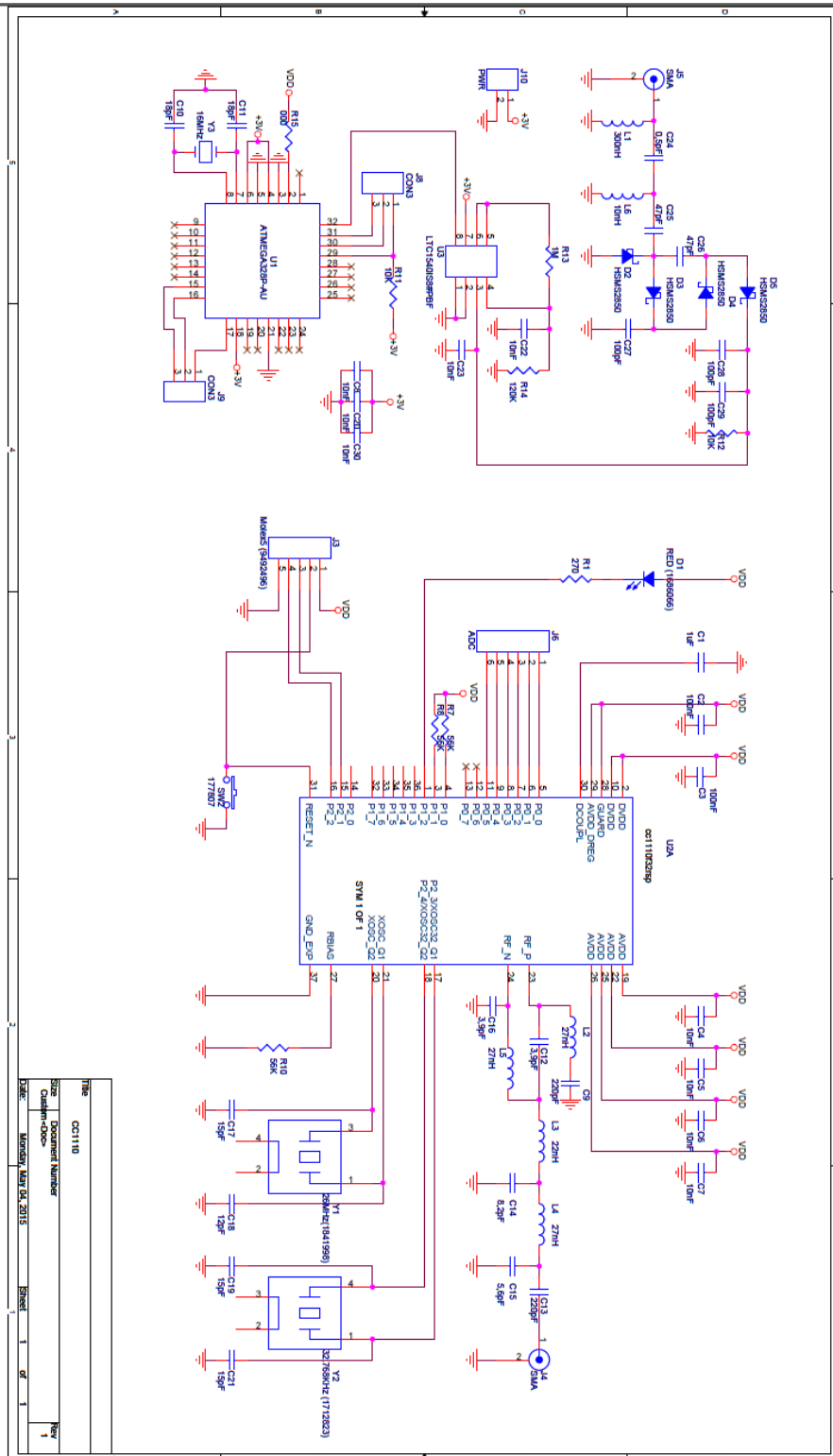


Figura 66 - Foto RF to DC converter

# C – Sistema Final - Módulo Animal

## Esquemático



## Circuito Final

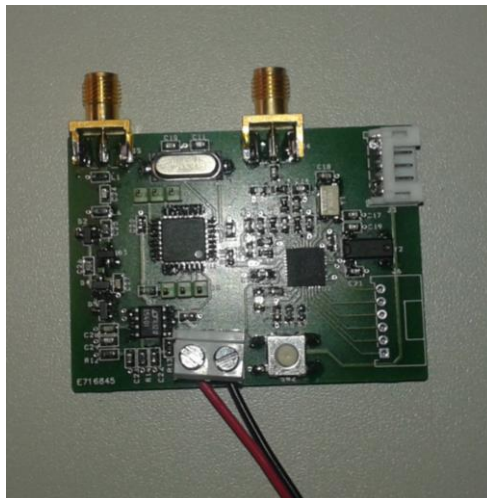


Figura 68 - Placa Final - Módulo do Animal

## D – Analise do Corno da Vaca



Figura 69 - Analise do Corno da Vaca



## Referências

---

- [1] “Wikipedia,” [Online]. Available: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Identifica%C3%A7%C3%A3o\\_por\\_radiofrequ%C3%A4ncia](http://pt.wikipedia.org/wiki/Identifica%C3%A7%C3%A3o_por_radiofrequ%C3%A4ncia). [Acedido em 03 2015].
- [2] K. Finkenzeller, “Rfid-handbook,” [Online]. Available: <http://rfid-handbook.de/about-rfid.html>. [Acedido em 15 03 2015].
- [3] A. d. J. S. Boaventura, Leitor/Gravador RFID – Banda HF (13.56 MHz), Aveiro, 2009.
- [4] “nfcnearfieldcommunication,” [Online]. Available: <http://www.nfcnearfieldcommunication.org/timeline.html>. [Acedido em 03 2015].
- [5] “Identificação por radiofrequência,” Wikipedia, [Online]. Available: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Identifica%C3%A7%C3%A3o\\_por\\_radiofrequ%C3%A4ncia#Hist.C3.B3ria\\_do\\_RFID](http://pt.wikipedia.org/wiki/Identifica%C3%A7%C3%A3o_por_radiofrequ%C3%A4ncia#Hist.C3.B3ria_do_RFID). [Acedido em 03 04 2015].
- [6] Radio-electronics, “RFID Tags, Tagging, & Smart Labels,” [Online]. Available: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/radio-frequency-identification-rfid/tags-tagging-transponders-smart-labels.php>. [Acedido em 04 04 2015].
- [7] K. Finkenzeller, “RFID-Handbook,” [Online]. Available: <http://rfid-handbook.de/about-rfid/radio-regulation/19-frequency-ranges.html>. [Acedido em 04 04 2015].
- [8] Garmin, “What is GPS?,” [Online]. Available: <http://www8.garmin.com/aboutGPS/>. [Acedido em 06 04 2015].
- [9] Wikipedia, “Sistema de posicionamento global,” [Online]. Available: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_posicionamento\\_global](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamento_global). [Acedido em 07 04 2015].
- [10] Wikipedia, “GSM - Wikipedia,” [Online]. Available: <http://pt.wikipedia.org/wiki/GSM>. [Acedido em 08 04 2015].
- [11] “Arduino,” [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/>. [Acedido em 21 03 2015].
- [12] Arduino, “Arduino Uno,” [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Acedido em 21 03 2015].
- [13] Arduino, “Arduino GSM Shield,” [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoGSMShield>. [Acedido em 21 03 2015].
- [14] T. Instruments, “CC1110-CC1111,” [Online]. Available: <http://www.ti.com/product/cc1110-cc1111>. [Acedido em 03 04 2015].
- [15] T. Instruments, “Datasheet CC1110Fx / CC1111Fx,” [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1110-cc1111.pdf>. [Acedido em 09 05 2014].
- [16] T. Instruments, “SimpliciTI™ - RF Made Easy,” [Online]. Available: [http://www.ti.com/corp/docs/landing/simpliciTI/index.htm?DCMP=hpa\\_rf\\_general&HQS=NotApplicable+OT+simpliciTI](http://www.ti.com/corp/docs/landing/simpliciTI/index.htm?DCMP=hpa_rf_general&HQS=NotApplicable+OT+simpliciTI). [Acedido em 09 05 2015].
- [17] T. Instruments, “SimpliciTI Compliant Protocol Stack,” [Online]. Available: [http://www.ti.com/graphics/tool/simpliciTI\\_picture\\_989.jpg](http://www.ti.com/graphics/tool/simpliciTI_picture_989.jpg). [Acedido em 09 05 2015].

- [18] I. D. J. C. J. P. G. U. G. a. L. R. Joaquim Oller, "Performance Evaluation and Comparative Analysis of SubCarrier Modulation Wake-up Radio Systems for Energy-Efficient Wireless Sensor Networks," *MDPI*, nº Sensors, pp. 22-51, 2014.
- [19] IFAP, "ifap.min-agricultura," [Online]. Available: [http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap\\_publico\\_recursos/O%20IFAP/GCR\\_publica/2000\\_Boletim%20Trimestral\\_1T.pdf](http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico_recursos/O%20IFAP/GCR_publica/2000_Boletim%20Trimestral_1T.pdf). [Acedido em 16 04 2015].
- [20] "portuguese.alibaba," [Online]. Available: [http://i01.i.aliimg.com/photo/v2/299447643/rumen\\_bolus\\_for\\_cattle\\_ID.jpg\\_220x220.jpg](http://i01.i.aliimg.com/photo/v2/299447643/rumen_bolus_for_cattle_ID.jpg_220x220.jpg). [Acedido em 16 04 2015].
- [21] ACRM, "A Raça Marinhua," [Online]. Available: <http://www.marinhua.com/conteudo.php?cat=2&cat1=0&cat2=0&cat3=0&idioma=pt>. [Acedido em 16 04 2015].
- [22] ACRM, "Localização Geográfica," [Online]. Available: <http://www.marinhua.com/conteudo.php?idm=4>. [Acedido em 16 04 2015].
- [23] H. Visual, "Como funciona o GPS?," [Online]. Available: <http://www.hcvisual.com/blog/post/Como-funciona-o-GPS.aspx>. [Acedido em 13 05 2015].
- [24] E. design, "Back to Basics: Impedance Matching," [Online]. Available: <http://electronicdesign.com/communications/back-basics-impedance-matching-part-2>. [Acedido em 13 05 2015].
- [25] "NMEA data," [Online]. Available: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>. [Acedido em 13 05 2015].
- [26] T. Instruments, "SimpliciTI API".
- [27] L. Technology, "Datasheet - LTC1540 - Nanopower Comparator with Reference," [Online]. Available: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1540fas.pdf>. [Acedido em 13 05 2015].
- [28] Arduino, "From Arduino to a Microcontroller on a Breadboard," [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard>. [Acedido em 13 05 2015].
- [29] E. Tuturials, "Active Band Pass Filter," [Online]. Available: [http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_7.html](http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_7.html). [Acedido em 16 03 2015].
- [30] emtalk, "Microstrip Patch Antenna Calculator," [Online]. Available: [http://www.emtalk.com/mpacalc.php?er=4.3&h=1.6&h\\_units\\_list=hmm&fr=2.4&Operation=Synthesize&La&L\\_units\\_list=Lmm&Wa&W\\_units\\_list=Wmm&Rin](http://www.emtalk.com/mpacalc.php?er=4.3&h=1.6&h_units_list=hmm&fr=2.4&Operation=Synthesize&La&L_units_list=Lmm&Wa&W_units_list=Wmm&Rin). [Acedido em 2015 05 27].

